



Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden
korkeakoulu

Samu Jokelainen

Betonin kuivumisen arviointi

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 19.4.2013

Valvoja: Professori Vesa Penttala

Ohjaaja: DI Tero Karislahti

Tekijä Samu Jokelainen

Työn nimi Betonin kuivumisen arviointi

Laitos Rakennustekniikan laitos

Professuuri Rakennusmateriaalitekniikka

Professuurikoodi Rak-82

Työn valvoja Professori Vesa Penttala

Työn ohjaaja(t)/Työntarkastaja(t) DI Tero Karislahti, Kari Lahti

Päivämäärä 19.4.2013

Sivumäärä 97 + 34

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida betonin kuivumista. Tavoitteiksi asetettiin muuttujien vaikutuksen tunnistaminen, vuodenajan vaikutus betonin kuivumiseen, menetelmien välinen vastaavuus ja vastaavuus työmaalla mitattuihin suhteellisiin kosteuksiin. Tutkimusmenetelminä käytettiin taulukko- ja tietokonepohjaisia betonin kuivumisen arviointimenetelmiä. Eri menetelmien muuttujia vaihdettiin yksi kerrallaan ja verrattiin tuloksia keskenään. Tutkimuksen testaukselle asetettiin raja-arvoja ja oletuksia. Työmaalla mitattuja tuloksia verrattiin laskennallisiin tuloksiin. Tutkimuksissa huomattiin Torkas-ohjelman ja BY 1021-tilauskomenetelmän vastaavan toisiaan hyvin. Tutkimuksessa saatiin muuttujille prosentuaaliset vaikutuskertoimet betonin kuivumiseen. Heikoin vuodenaika betonin kuivumiselle on kesäkuun alusta lokakuun loppuun. Vuodenajan vaikutus on suuntaa antava. Torkas-ohjelmalla pystyrakenteet antoivat lähes saman suhteellisen kosteuden kuin työmaalla mitatut. Vaakarakenteet olivat aina kuivempia kuin Torkas-ohjelman antama suhteellinen kosteus. Torkas-ohjelman tulokset olivat vaakarakenteiden osalta tavoitekosteuden alapuolella ja pystyrakenteiden osalta lähellä työmaalla mitattuja arvoja. Kaikista Torkas-ohjelman tuloksista 67 % näytti suurempaa poikkeamaa kuin ± 5 % RH, verrattuna työmaalla mitattuihin tuloksiin. Torkas-ohjelma ei ole tarpeeksi tarkka ja yksinkertainen arviointimenetelmä työmaalle. BY 1021-menetelmän tulokset olivat kaikissa tapauksissa tavoitekosteuden alapuolella. Muita diplomityössä testattuja menetelmiä ei tulisi käyttää betonin kuivumisen arvioinnissa. Rakenteet kuivuivat työmaalla nopeammin kuin menetelmien antamat kuivumisaikarvot. BY 1021-menetelmä on luotettava ja yksinkertainen työkalu työmaalle, mutta vain suuntaa antava. Tutkimuksessa päädyttiin samaan tulokseen, kuin muissakin tutkimuksissa ja ohjeissa. Betonin suhteellinen kosteus tulee aina mitata.

Avainsanat Betonin kuivuminen, kuivuminen Torkas, BY 1021,



Author Samu Jokelainen

Title of thesis Evaluating Drying of Concrete

Department Department of Civil and Structural Engineering

Professorship Building Materials Technology

Code of professorship Rak-82

Thesis supervisor Professor Vesa Penttala

Thesis advisor(s) / Thesis examiner(s) M.Sc Tero Karislahti, Kari Lahti

Date 19.4.2013

Number of pages 97 + 34

Language Finnish

Abstract

Thesis objective was to evaluate drying of concrete. The objectives were to identify variables that have an effect on drying, seasonal effect on drying of concrete and correlations between evaluation methods and between methods and site measured values. The research method was based on table and computer based evaluation methods. The method variables were changed one by one to identify variation and correlation. Computational results were compared to site measured results. Torkas and BY 1021 methods correlated positively. The thesis gave variables factors for the drying of concrete. The worst drying period for concrete is from the beginning of June until the end of October. The vertical structures gave almost the same RH as measured on the site. The horizontal structures were always drier on site than Torkas values. The horizontal structures results were below desired relative humidity and the vertical structures were almost the same RH as Torkas. 67 % of all Torkas results gave a deviant of ± 5 % RH than site measured values. Torkas program is not accurate and simple enough for the construction site. BY 1021 methods values were always below desired relative humidity. Other tested methods should not be used to evaluate the drying of concrete, as the drying times were shorter than site measured. BY 1021 method is the proper tool for construction site but still just directional. Thesis concluded the same result as other researches and instructions. Relative humidity always has to be measured.

Keywords Drying of Concrete, Torkas, BY 1021

Alkusanat

Työskentelin kesällä 2011 YIT Talonrakennuksella Lahdessa. Kesän projektina minulla oli 10-vuotis korjausvastuun piirissä oleva kerrostalo. Kerrostalon kaikissa huoneistoissa oli paljon huonosti kiinni olevia lattia- ja seinälaattoja. Laatat olivat irti, koska lattioiden ja seinien suhteellinen kosteus oli liian korkea vedeneristystä tehtäessä. Projekti kesti noin kolme kuukautta ja maksoi kahden aloittelevan insinöörin vuosipalkan.

Diplomityössä tutkitaan betonin kuivumisen arviointia.

Diplomityön valvojana toimi professori Vesa Penttala. Työn aiheen ohjaukseen osallistui Kari Lahti sekä valvojana toimi DI Tero Karislahti. Diplomityö on rahoitettu YIT stipendin avulla.

Kiitän kaikkia diplomityöhön osallistuneita ja opintojani tukeneita henkilöitä.

Lahdessa 19.4.2013

Samu Jokelainen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo.....	5
Lyhenteet.....	7
1 Johdanto.....	9
1.1 Tutkimuksen tausta.....	9
1.2 Tutkimusongelma	9
1.3 Tutkimuksen tavoite ja rajaukset	10
2 Betonin kosteus ja kuivuminen.....	11
2.1 Kosteus betonissa	11
2.1.1 Kosteuden sitoutuminen.....	11
2.1.2 Haihtumiskykyinen vesi.....	12
2.1.3 Kosteuspitoisuus.....	13
2.1.4 Suhteellisen kosteuden mittaus	15
2.2 Betonin kuivuminen.....	16
2.2.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.....	19
2.2.2 Betonin lämpötila	20
2.2.3 Lisäkosteus ja vesi-sideainesuhde	21
2.2.4 Betonin koostumus ja erikoisbetonit	22
2.2.5 Rakenneratkaisu ja rakenteen paksuus	24
2.2.6 Tasoitteen vaikutus alusbetoniin	25
2.3 Pinnoittaminen ja pinnoitusvauriot.....	26
2.3.1 Pinnoitemateriaalien ominaisuudet	28
3 Tutkimusmateriaali	29
3.1 Tutkimuksen Case-kohteen perustiedot.....	29
3.2 Kriittiset pinnat.....	30
3.3 Tarkasteltavat rakenteet	31
3.4 Ympäristön olosuhteet ja suhteellisen kosteuden mittaus.....	34
4 Tutkimusmenetelmät.....	35
4.1 Kuivumisen arviointi	35
4.2 MoistureCalc	35

4.3	Lathund	36
4.4	BLY 7.....	36
4.5	RTT-paikallavalurakentaminen.....	37
4.6	BY 1021	37
4.7	TorkaS.....	38
5	Muuttujien vaikutus	41
5.1	Ympäristön lämpötila.....	41
5.2	Ympäristön suhteellinen kosteus.....	44
5.3	Lisäkastuminen.....	46
5.4	Vesi-sideainesuhde	49
5.5	Sementin määrä	52
5.6	Rakenteen paksuus.....	53
5.7	Rakenneratkaisu.....	55
5.8	Tasoitteen kuivuminen.....	58
5.9	Muut muuttujat	60
6	Vuodenajan vaikutus	63
7	Laskennalliset kuivumisajat	69
8	Tulokset	73
8.1	Muuttujien vaikutus	73
8.2	Menetelmien vertailu	77
8.3	Vuodenajan vaikutus.....	79
8.4	Laskennalliset kuivumisajat	81
8.5	Johtopäätökset	87
8.6	Luotettavuus ja jatkotutkimukset.....	89
9	Yhteenveto	91
	Lähdeluettelo	94
	Liiteluettelo	97
	Liitteet	

Lyhenteet

ACI	American Concrete Institute
BY	Suomen Betoniyhdistys r.y.
BLY	Suomen Betonilattiayhdistys r.y.
KVR	Kokonaisvastuurakentaminen
RBK	Rådet för ByggKompetens
RIL	Rakennusinsinööriliitto
RH	Relative Humidity (Suhteellinen kosteus)
SisäRYL	Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset - Talonrakennuksen sisätyöt
SBUF	Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond

Käsitteet

Hydrataatio	Hydraulisen sideaineen ja veden seoksen reaktioiden yhteisnimitys.
Kapillaarivirtaus	Huokosalipaineen paikallisten erojen aiheuttamaa veden siirtymistä huukoissa aineessa.
Selitysaste	Selitysaste kertoo kuinka suuren osan kokonaisvaihtelusta malli selittää. Selitysaste = r^2 .
Suhteellinen kosteus	Ilman sisältämän kosteuden määrä suhteessa ilman absoluuttisen kosteuden määrään.
Vesihöyryn diffuusio	Kaasuseoksen vakiokokonaispaineessa tapahtuvaa vesihöyrymolekyylien liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksen höyrynpitoisuus- tai höyryn osapaine-eroja.
Vesihöyrynläpäisevyys	Ilmoittaa sen vesihöyrymäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pinta-alayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun vesihöyryn osapaine-ero ainekerroksen eri puolilla on yksikön (Pa) suuruinen tai vesihöyrypitoisuuksien ero on yksikön (kg/m^3) suuruinen. Vesihöyryn osapaine-eron perusteella määritetyn vesihöyrynläpäisevyyden δ_p yksikkö $\text{kg}/(\text{msPa})$ ja vesihöyrypitoisuuden perusteella määritetyn vesihöyrynläpäisevyyden δ_v yksikkö on m^2/s .
Vesihöyrynvastus	Ilmoittaa tasapaksun ainekerroksen tai tällaisista tasapaksun kerroksellisen rakenteen pinnoilla eri puolilla vallitsevien vesihöyrypitoisuuksien tai vesihöyryn osapaineiden eron ja ainekerroksen tai rakenteen läpi jatkuvuustilassa pinta-alayksikköä kohti diffusoituvan vesihöyryvirran suhteen.

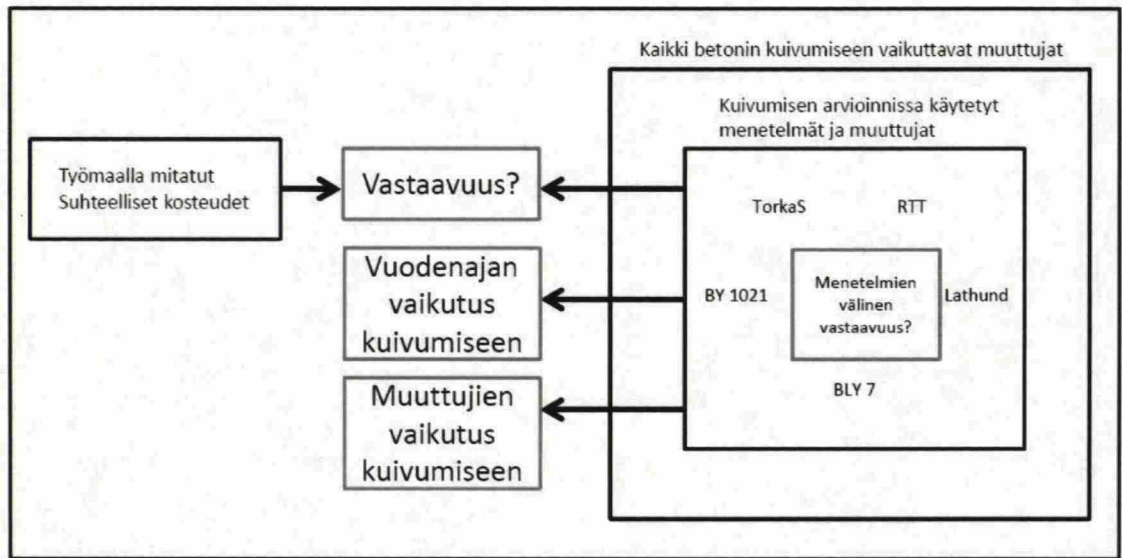
1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Sisäilman ongelmat ovat viimeaikoina puhuttaneet rakennusalaan. Yksi ongelmien lähde uudisrakentamisessa on kosteus betonissa. Betonirakenteen tulee kuivua empiirisesti määrättyyn suhteelliseen kosteuteen, ennen kuin se voidaan päällystää. Erilaiset pinnoitteet ja päällysteet, sekä niiden kiinnitysaineet sietävät eri määrän kosteutta. Ennen aikaisesta päällystämisestä voi koitua terveyshaittoja ja kalliita korjauksia, sekä oikeudenkäyntejä. Liiallisesta kuivattamisesta voi koitua kustannuksia ja mahdollisesti sakkoja myöhästymisestä. Betonin kuivumisen arviointiin on kehitetty vain muutamia menetelmiä. Menetelmät perustuvat empiiristen tulosten perusteella laadittuihin taulukoihin ja tietokonelaskelmiin.

1.2 Tutkimusongelma

YIT rakentaa pääsääntöisesti normaalin kerrostalon 11 kuukaudessa. Riittääkö rakennusaika betonirakenteiden kuivumiseen niin, että päällystämiseen vaadittava hyväksytty suhteellinen kosteus on saavutettu? Betonin kuivumiselle ei ole yleisesti hyväksyttyä ja yksiselitteistä laskennallista kaavaa. Miten kuivumisaikojen arvioidaan ja miten luotettavia kuivumisaikat ovat? Miten lähelle eri menetelmien kuivumisaika-arviot osuvat toisiinsa? Miten työmaan aloitusajankohta vaikuttaa rakenteiden kuivumiseen. Millä suunnittelun ja tuotannon keinoilla kuivumisaikaa voidaan lyhentää?



Kuva 1 Diplomityön tutkimusasetelma, tavoitteet ja rajaus.

1.3 Tutkimuksen tavoite ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena oli määritellä kuivumisajat eri menetelmillä case-kohteen rakenteille ja vertailla niitä työmaalla mitattuihin arvoihin. Tutkimuksessa vertaillaan eri kuivumisajan arviointimenetelmiä. Tutkimuksessa tunnistetaan betonin kuivumiseen vaikuttavat tekijät ja tehdään yhteenveto niiden vaikutuksesta. Tutkimuksessa tarkastellaan työmaan aloitusajankohdan vaikutusta betonin kuivumiseen. Tutkimus rajataan case-kohteen mukaisiin rakenteisiin, sekä kriittisiin suhteellisen kosteuden raja-arvoihin. Kuivumisen arviointimenetelmillä on rajalliset muuttujat, joten tutkimus rajautuu näihin muuttujiin. Kuvassa 1 on kiteytetty tutkimusasetelma, tavoitteet ja rajaus.

2 Betonin kosteus ja kuivuminen

2.1 Kosteus betonissa

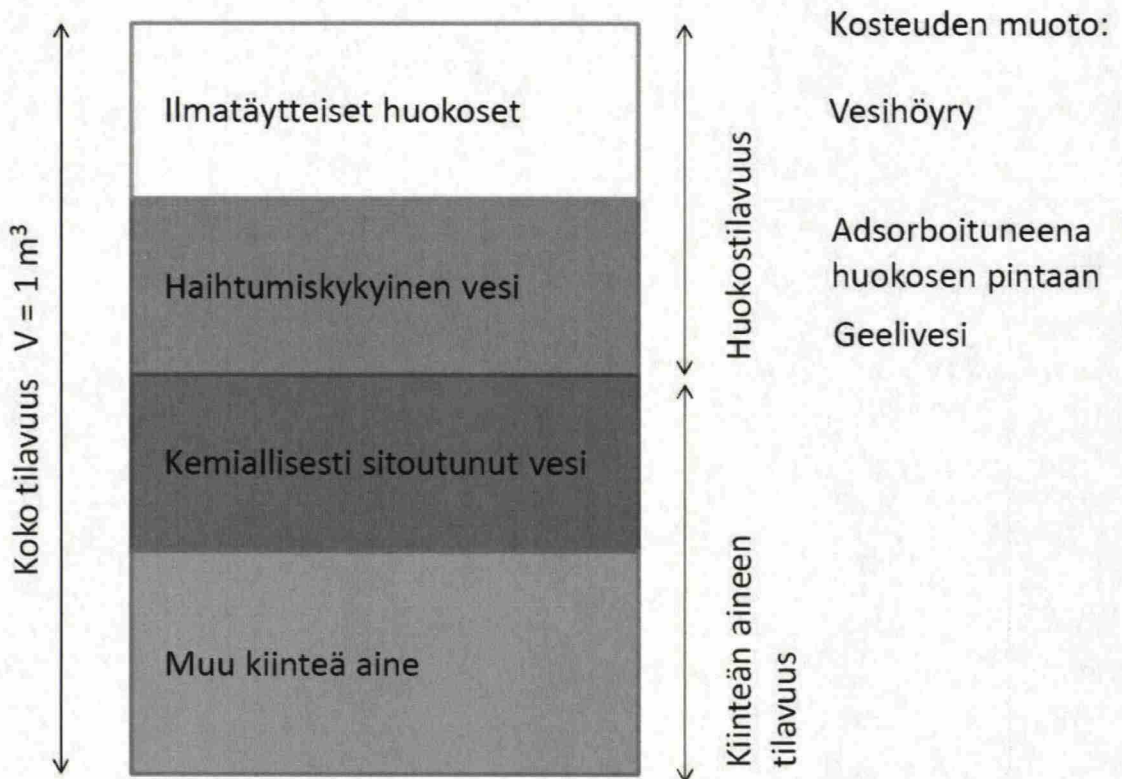
Betoni koostuu vedestä, sementistä ja runkoaineesta, sekä mahdollisista seos- ja lisäaineista. Suurin osa betonissa olevasta vedestä tulee betonin valmistuksen yhteydessä. Kosteus voi olla lähtöisin myös vesi-, lumi- tai räntäsateesta, sekä vesivahingoista. Maanvaraisissa rakenteissa kosteus voi nousta maaperästä betoniin kapillaarisesti ja diffuusion vaikutuksesta. Betoni pyrkii hygroskooppisena materiaalina tapapainokosteuteen ympäristön kanssa, joten se voi sitoa (absorboida) ja luovuttaa (desorboida) kosteutta vesihöyryn muodossa. Rakennusaikana tasoitteista ja laasteista tulee hetkellinen kosteusrasitus. Runkoaineessa on pieni vesimäärä, joka lisätään betonin valmistuksen yhteydessä teholliseen vesi-sideainesuhteeseen (BY 201 2004, 38).

2.1.1 Kosteuden sitoutuminen

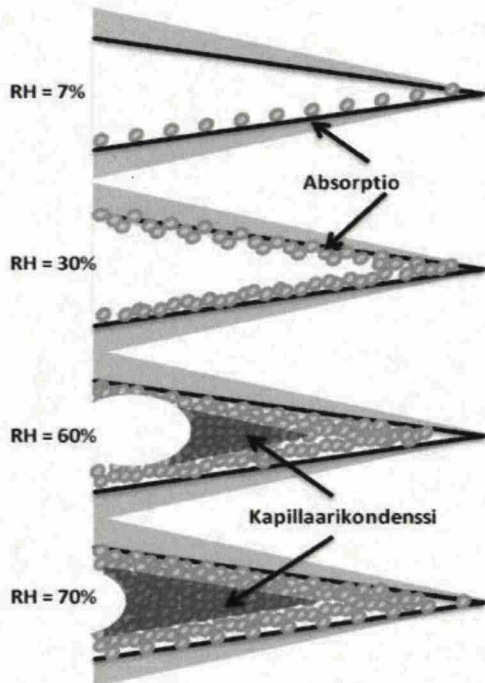
Sementti tarvitsee vettä kemiallisen reaktion käynnistämiseen. Sementin ja veden reaktiossa syntyy sementtiliimaa, joka sitoo runkoainepartikkelit toisiinsa. Betonissa käytetään enemmän vettä, kuin sitä voi kemiallisesti sitoutua. Ylimääräistä vettä tarvitaan helpottamaan betonin työstämistä ja hydrataation onnistumiseen (Merikallio 2009, 12). Täydellistä hydrataatioastetta kuvataan arvolla 1,0. Käytännössä hydrataatioaste jää alle 1,0. Täydellisessä hydrataatiossa kemiallisesti sitoutuvan veden määrä on noin 25 % sementin painosta. Geelihuokosiin sitoutuu fysikaalisesti vettä noin 15 % sementin painosta. Täydellisessä hydrataatiossa vettä sitoutuu 40–45 % sementin painosta. (BY 201 2004, 53.) Geelivesi poistuu vasta alle 11 % suhteellisessa kosteudessa, joten käytännön rakenteissa geelivesi ei poistu rakenteesta lainkaan (Merikallio 2009, 11). Betoni pyrkii kosteustasapainoon ympäröivän ilman kanssa. Huokosilman suhteellisen kosteuspitoisuuden ollessa pienempi kuin ympäröivän ilman suhteellinen kosteus, kosteutta siirtyy (absorboituu) ympäröivästä ilmasta betonin huokosilmaan.

2.1.2 Haihtumiskykyinen vesi

Kuvassa 2 on esitetty kosteuden eri muotojen jakautuminen betonissa. Fysikaalisesti sitoutunut vesi on vapaata vettä, joka pystyy liikkumaan huokosrakenteessa. Fysikaalista haihtumiskykyistä vettä on huokosten ilmatilassa vesihöyrynä, adsorboituneena huokosen pintaan vesimolekyylikerroksina, sekä osin kapillaarikondenssin vaikutuksesta (kuva 3). Kapillaarikondenssin vaikutus kasvaa suhteellisen kosteuden kasvaessa. Huokosten ilmatilan vesihöyrypitoisuus lämpötilan kanssa muodostavat betonin suhteellisen kosteuden. Fysikaalista vettä on myös geelihuokosissa, mutta se haihtuu vasta alle 11 % suhteellisessa kosteudessa (Merikallio 2009, 11).



Kuva 2 Betonin tilavuuden jakautuminen kiinteän aineen, huokosten ja kosteuden suhteen.



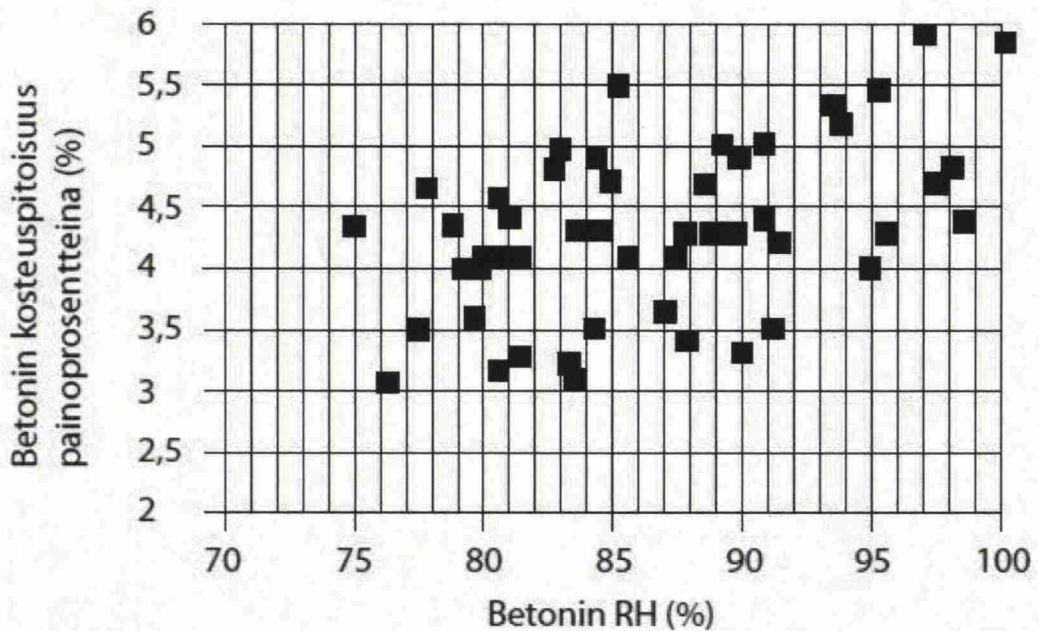
Kuva 3 Absorptiolla ja kapillaarikondenssilla sitoutuneen kosteuden määrä kasvaa suhteellisen kosteuden RH (%) noustessa. (Merikallio 2009, 13)

2.1.3 Kosteuspitoisuus

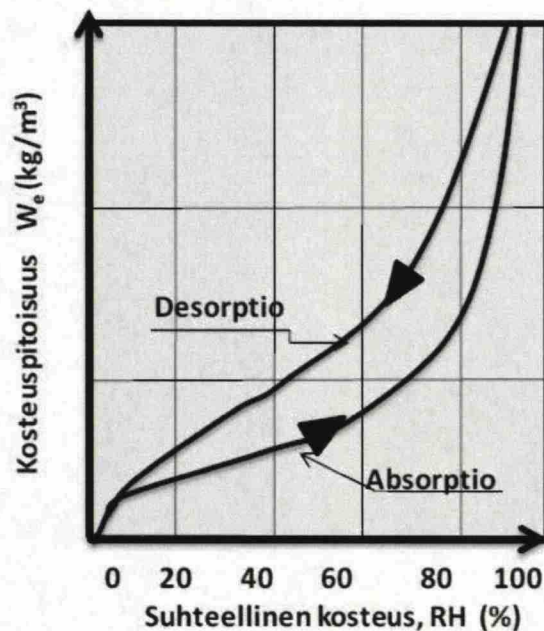
Betonin kosteuspitoisuus voidaan ilmoittaa eri tavoilla:

- kosteussisältönä (kg/m^3) betonin tilavuuden suhteessa
- painoprosentteina (p - %) betonin kuivapainosta
- suhteellisenä kosteutena RH (%)

Kosteussisältö ja painoprosentti ilmoittavat tarkasteltavan partikkelin todellisen vesimäärän. Suhteellinen kosteus riippuu betonin lämpötilasta ja huokosrakenteesta. Erilainen huokosrakenne kahden eri betonin välillä voi sitoa eri määrän kosteutta. Kuvassa 4 on esitetty laboratoriotutkimustuloksia suhteellisen kosteuden ja painoprosentin välisestä riippuvuudesta. Betonin suhteellinen kosteus voi vaihdella esimerkiksi 75–98 % välillä samalla painoprosentilla 4,3 % (RT 14-10984 2010, 2.) Kosteussisällön ja painoprosentin mittaus tehdään punnitus-kuivatusmenetelmällä. Punnitus-kuivausmenetelmässä pala betonia piikataan tai porataan irti määrättyltä syvyydeltä. Pala punnitaan ja kuivataan uunissa 105 °C:ssa. Kuivauksen jälkeen pala punnitaan ja lasketaan painon väheneminen. Suhteellinen kosteus voidaan mitata monella tavalla. Yleisimmin Suomessa käytettävä menetelmä on porareikämittaus (Merikallio 2009, 60).



Kuva 4 Kuvassa on laboratoriotutkimustuloksia erilaatuisten ja eri-ikäisten betonien suhteellisen kosteuden ja painoprosentin välisestä riippuvuudesta. (RT 14-10984 2010, 2)



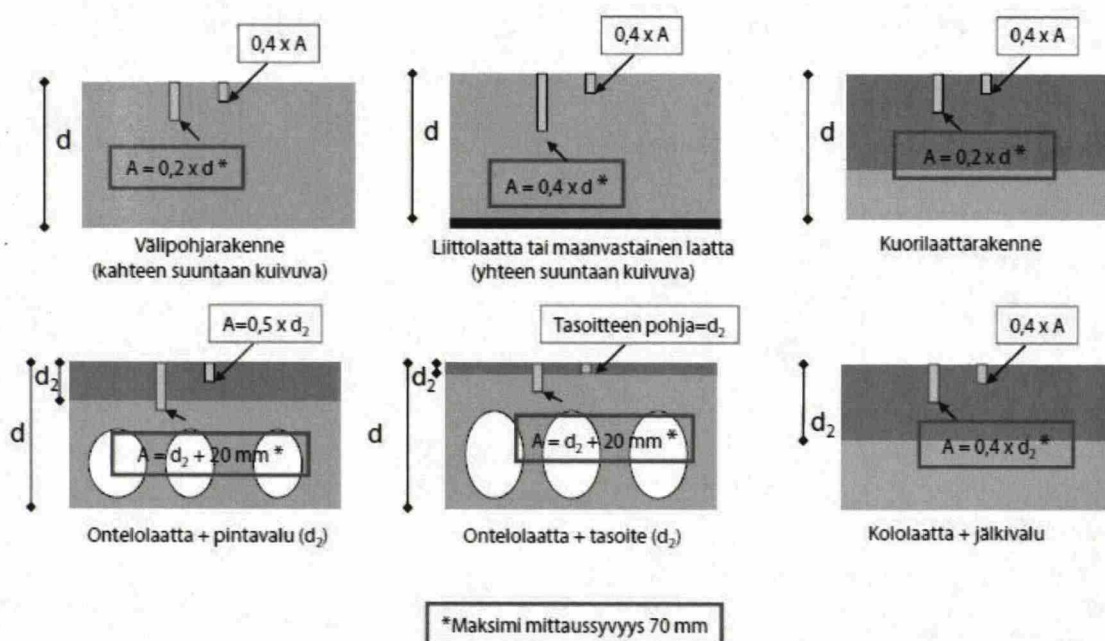
Kuva 5 Periaatekuva betonin hygroskooppisesta tasapainokosteuskäyrästä. Käyrä ilmoittaa kuinka paljon kosteutta (kg/m³) on tietyllä suhteellisen kosteuden (%) arvolla tietyssä lämpötilassa. Absorptio on kostumista ja desorptio kuivumista. (Merikallio 2009, 15)

Suhteellisen kosteuden ja kosteuspitoisuuden välille voidaan laatia hygroskooppinen tasapainokäyrä (kuva 5). Käyrä ilmoittaa kuinka paljon kosteutta (kg/m^3) on tietyllä suhteellisen kosteuden (%) arvolla tietyssä lämpötilassa. Absorption ja desorption välisistä epäidenttisyistä kutsutaan hystereesiksi. Hystereesi-ilmiön vuoksi materiaali ei samoissa ympäristön olosuhteissa saavuta täsmälleen samaa tasapainokosteuden arvoa kostuessaan kuin kuivuessaan. Hystereesi-ilmiölle ei ole yleisesti hyväksyttyä selitystä (Holmberg 2011, 23).

2.1.4 Suhteellisen kosteuden mittaus

Suomessa suhteellinen kosteus mitataan yleisimmin porareikämittauksella (Merikallio 2009, 60). Porareikämittaus on rakennetta rikkovaa ja työlästä. Mittaus suoritetaan RT 14-10984-ohjekortin mukaan. Suhteellinen kosteus tulee mitata rakenteen lopullisessa käyttötilassa. Porareikä mittaus on tarkimmillaan $+15\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (RT 14-10984 2010, 3.) Merikallio (2009) on tutkinut betonin suhteellisen kosteuden määrittämisprosessia. Suhteellisen kosteuden mittaus on herkkä eri tekijöille. Eniten mittaustulokseen vaikuttavat mittaustilaite, mittausten menetelmä, mittaja ja ympäristö. Tutkimuksen mukaan mittaustulokset voivat heittää jopa $\pm 15\text{ }\%$ RH.

Porareikämittauksessa mittaussyvyys on erittäin tärkeä. Mittaussyvyys määritellään rakenneratkaisun mukaan. Mittaussyvyys kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa on $0,2 \cdot$ rakenteen paksuus. Yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa mittaussyvyys on $0,4 \cdot$ rakenteen paksuus. Monikerroksellisissa rakenteissa mitataan eri määritelmillä. Mittaussyvyudet eri rakenteille on esitetty kuvassa 6. Mittaussyvyudet perustuvat kokemukseräiseen tietoon. Kriittinen suhteellinen kosteus päällysteen alla ei nouse päällystämisen jälkeen suuremmaksi kuin ennen päällystämistä arviointi syvyydellä A (BY 201 2004, 435.)



Kuva 6 Kosteusmittausvyödet rakennetekaisujen mukaan (RT 14-10984 2010, 14)

2.2 Betonin kuivuminen

Kosteuden kuivuminen betonista voidaan jakaa sitoutumiskuivumiseen ja haihtumiskuivumiseen. Sitoutumiskuivumiseksi kutsutaan hydrataatiossa kemiallisesti sitoutuvaa vettä. Persson (1992) on tutkinut sitoutumiskuivumista. Taulukossa 1 on esitetty suurin vesi-sideainesuhde, jolla saavutetaan suhteelliset kosteudet 90 % ja 85 %, kun haihtuminen on estetty. ”Suhteellinen kosteus voi betonilaadusta riippuen laskea 98...90 %:iin pelkästään sitoutumiskuivumisen vaikutuksesta” (Merikallio 2002, 33).

Taulukko 1 Betonin suurin sallittu vesi-sideainesuhde, jolla saavutetaan 90 % RH ja 85 % RH sitoutumiskuivumisen avulla, kun haihtuminen on estetty. (Persson 1992, 121).

RH _{kriitt.}	Kuivumisaika		
	28 vrk	90 vrk	450 vrk
90 %	w/c < 0,32	w/c < 0,40	w/c < 0,46
85 %	w/c < 0,25	w/c < 0,32	w/c < 0,38

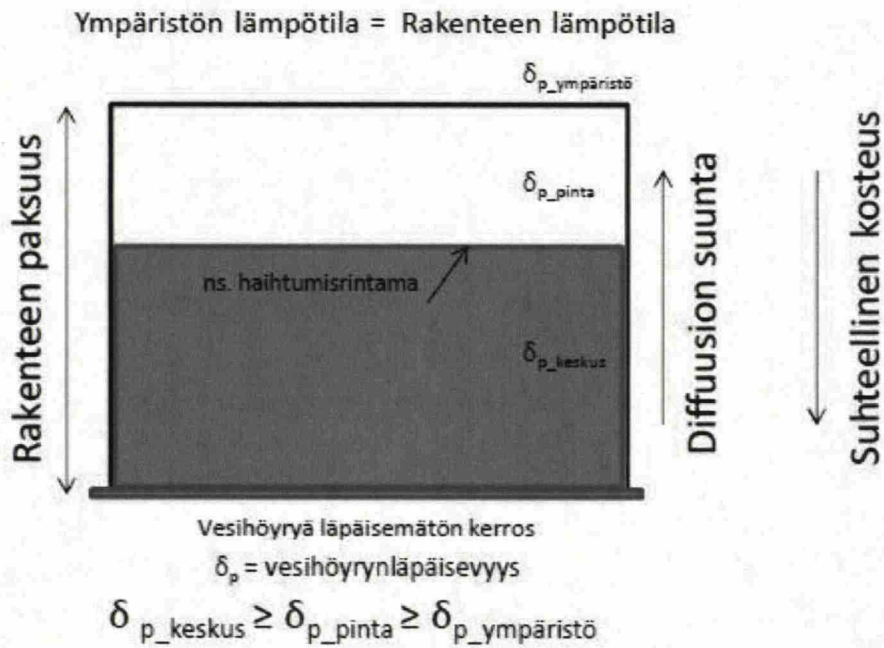
Kosteuden siirtymistä diffuusiolla ja kapillaarivirtauksen vaikutuksesta rakenteen pinnalle kutsutaan haihtumiskuivumiseksi. Kapillaarivirtaus siirtää kosteutta huomattavasti nopeammin kuin diffuusio. Betoni kuivuu aluksi kapillaarivirtauksen vaikutuksesta, diffuusion vaikutuksesta ja sitoutumiskuivumisesta. Kapillaarinen virtaus siirtää kosteutta rakenteen pinnalle, josta kosteus haihtuu ympäristöön. Mitä suurempi betonin suhteellinen kosteus on, sitä nopeammin kosteutta siirtyy (kuva 3). Kapillaarinen virtaus vaatii yhtenäisen, vedellä täytetyn huokosverkoston. Hydrataation edetessä yhtenäinen

huokosverkosto sulkeutuu ja kapillaarisen virtauksen vaikutus lakkaa. Vesi-sideainesuhde vaikuttaa kapillaariverkoston. Taulukosta 2 selviää vesi-sideainesuhteen vaikutus kapillaariverkoston sulkeutumiseen. Yli 0,7 vesi-sideainesuhteella kapillaariverkosto ei sulkeudu.

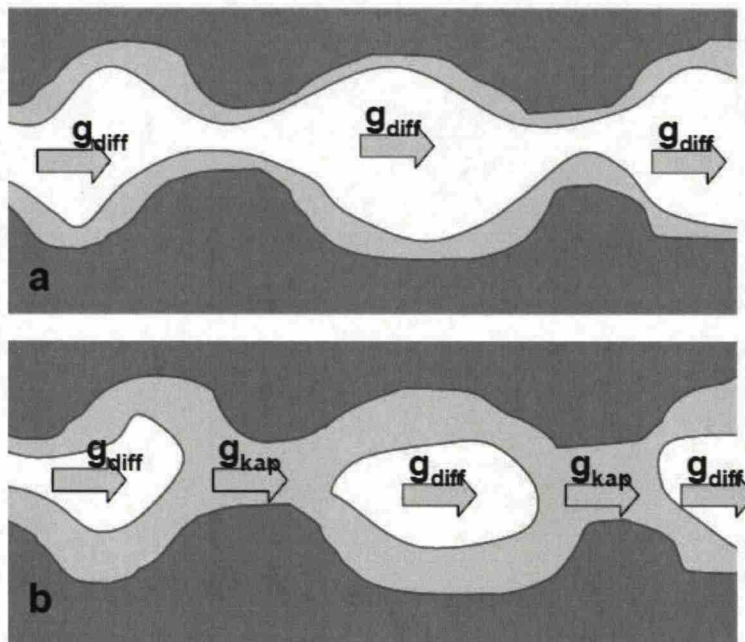
Taulukko 2 Sementtigeeli sulkee läpimenevät kapillaarihuokokset. Kapillaarihuokosten sulkeutuminen riippuu vesi-sideainesuhteesta. (Powers et al. 1959, 38-48)

V/S suhde	Kapillaariverkoston sulkeutuminen
0.40	3 päivää
0.45	7 päivää
0.50	14 päivää
0.60	6 kuukautta
0.70	1 vuosi
yli 0.70	mahdotonta

Kapillaarisenvirtauksen vaikutuksen loputtua kosteutta siirtyy vain diffuusion vaikutuksesta (kuva 8). Betoni on hygroskooppinen materiaali ja pyrkii tasapainotilaan ympäristön kanssa. Diffuusio perustuu huokosten ilmatilan vesihöyryn osapaineen ja ympäristön vesihöyryn osapaine-eroon. Vastavaletun betonin suhteellinen kosteus on usein suurempi kuin ympäristön suhteellinen kosteus. Kuvassa 7 esitetään periaatekuva vesihöyryn paine-erojen jakautuminen rakenteen suhteellisen kosteuden mukaan. Diffuusiossa vesihöyry pyrkii tasoittumaan korkeammasta pitoisuudesta pienempään pitoisuuteen. Pinnassa vesihöyryn osapaine on pienempi kuin rakenteen keskellä. Rakenteen sisällä vallitsevat paine-erot siirtävät kosteutta alhaisempaan vesihöyrynpaineeseen. Vesihöyryn osapaine pyrkii tasapainottumaan rakenteen pinnan kanssa. Pinta pyrkii tasapainottumaan ympäristön kanssa, eli vesihöyry haihtuu ilmaan.



Kuva 7 Yhteen suuntaan kuivuvan rakenteen periaatekuva. Kuvassa on vesihöyryn osapaineiden jakautuminen rakenteessa. Haihtumisrintama kuvaa suhteellisen kosteuden ja vesi-höyryn paine-eron kasvua syvemmälle mentäessä.

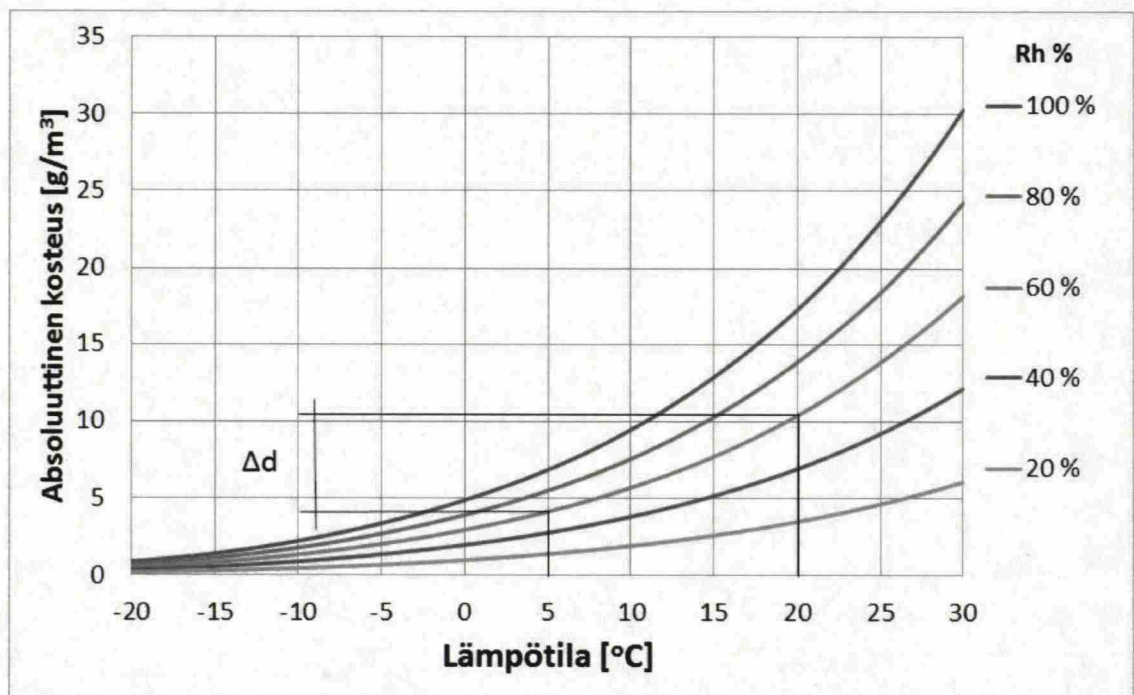


Kuva 8 Kosteuden siirtyminen betonin huokosissa vain diffuusion (g_{diff}) vaikutuksesta a. Kosteuden siirtyminen diffuusion (g_{diff}) ja kapillaarisuuden (g_{kap}) vaikutuksesta b. (Merikallio 2009, 22)

2.2.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus

Ympäristön ilmaa tulee lämmittää kosteuskapasiteetin nostamiseksi. Mitä suurempi lämpötila, sitä enemmän ilma pystyy sitomaan vesihöyryä (g/m^3). Ilman lämpötilaa nostamalla suhteellinen kosteus laskee. Ympäristön suotuisa lämpötila betonin kuivumiseen on yli $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja suhteellinen kosteus 50% (Merikallio 2002, 35).

Kuvassa 9 esitetään esimerkkinä $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ilman kosteuden sitomiskyky suhteellisen kosteuden ollessa 60% . Ilma, jonka lämpötila on $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ voi sitoa kosteutta 60% suhteellisella kosteudella $4,1\text{ g/m}^3$ kosteutta. Vastaava luku $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ilmalle on $10,37\text{ g/m}^3$. Erotus Δd on $6,27\text{ g/m}^3$ eli $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ilma sitoo kosteutta noin 2,5-kertaa enemmän kuin $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ilma.



Kuva 9 Periaatekuva ilman potentiaalisesta kosteuden sitomiskyvystä lämpötilan ja suhteellisen kosteuden muuttuessa.

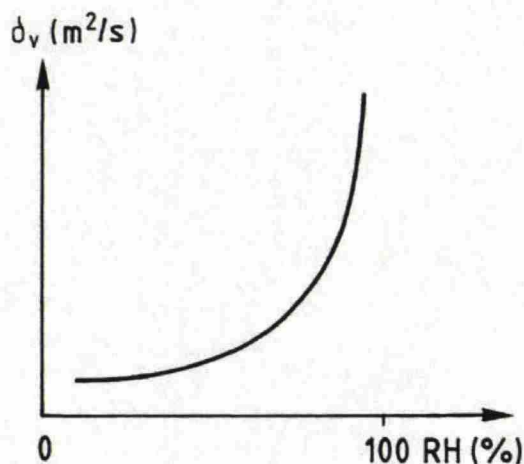
Ilman vaihtuvuus on sisäilman suhteellisen kosteuden kannalta tärkeää. Betonista haihtuu kosteutta sisäilmaan. Suhteellinen kosteus ei saa nousta liian korkealle, sillä muutoin ympäröivä ilma ei voi sitoa betonista haihtuvaa kosteutta. Kosteutta tuuletetaan ulkoilmaan tai kuivatetaan koneellisesti. Betonin kuivumisen kannalta suhteellinen kosteus tulisi olla noin 50% . Syksyisin suhteellinen kosteus voi nousta niin korkealle, että betoni imee kosteutta ilmasta.

Tuulennopeus vaikuttaa vastavaletun betonin pinnan kuivumiseen. Kapillaarisesti siirtyvä kosteus poistuu ilmavirran mukana. Tuulen nopeuden vaikutusta betonin kuivumiseen voidaan arvioida ACI-nomogrammilla. Suurempi tuulennopeus kuivattaa betonin pintaa nopeammin.

2.2.2 Betonin lämpötila

Betonin lämpötilan nostaminen on yksi tehokkaimmista keinoista nopeuttaa rakenteiden kuivumista. Betonin lämpötilan nostaminen kymmenellä asteella kasvattaa betonin kosteutta siirtäviä voimia 1,5-kertaiseksi (Merikallio 2003, 33). Betonin lämpötilan noustessa absorboituneet vesimolekyylit huokosten pinnassa höyrystyvät betonin huokosten ilmatilaan. Tällöin huokosten ilmatilan kosteussisältö nousee (g/m^3) ja samalla huokosilman suhteellinen kosteus nousee. Suhteellisen kosteuden kasvun myötä betonin huokosilman ja ympäristön välinen vesihöyrynpaine-ero kasvaa ja kosteutta siirtävät voimat voimistuu. Mitä suurempi lämpötilaero, sitä suurempi on vesihöyrynpaine-ero.

Suhteellinen kosteus nousee, koska betonin suuri kosteudenläpäisyvastus estää vesihöyryä poistumasta rakenteesta. Huokosilma ei muutu samalla tavalla kuin normaali ilma. Vesihöyrynläpäisevyys muuttuu (kuva 10) epälineaarisesti suhteellisen kosteuden ja hydrataatioasteen mukaan (Hedenblad 1993, 3). Vesihöyrynläpäisevyys on riippuvainen myös betonin koostumuksesta, betonin iästä sekä huokosrakenteesta (Xin et al. 1995, 144).



Kuva 10 Periaatekuva suhteellisen kosteuden muutoksen vaikutus kosteudenläpäisevyyteen, vesihöyrypitoisuuden ollessa potentiaalina. (Hedenblad 1993, 3).

Paksuissa rakenteissa sementin ja veden kemiallisessa reaktiossa alkulämpötila voi nousta korkealle. Betonin alkulämpötila ei saisi nousta yli 50°C (BY 201 2004, 350). Nuoren betonin korkea lämpötila aiheuttaa lujuskatoa ja halkeilua. Halkeilu voi nopeuttaa betonin kuivumista. Suhteellisen kosteuden ja pinnoittamisen kannalta betonin alkulämpötiloilla ei ole suurta merkitystä.

2.2.3 Lisäkosteus ja vesi-sideainesuhde

Lisäkosteus

Betonin kostuminen lumi-, räntä- ja vesisateen, tai vesivahingon vaikutuksesta pidentää kuivumisaikaa merkittävästi. ”Mitä myöhemmässä vaiheessa kastuminen tapahtuu, sitä enemmän se vaikuttaa rakenteelta vaadittavaan kuivumisaikaan sitä hidastavasti” (Merikallio 2009, 24). Rakenne tulisi suojata sateelta mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Betonirakenteeseen päässyt ylimääräinen vesi tai lumi tulee poistaa mekaanisesti esimerkiksi vesi-imurilla, lastalla, lapiolla, harjalla jne. Betonin kuivuminen alkaa vasta, kun lisäkosteuden pääsy rakenteeseen on estetty ja ympäristön olosuhteet ovat suotuisat. Haihtumiskuivumista ei tapahdu, ellei rakenteen ja ympäristön välillä ole riittävää vesihöyryn paine-eroa. Mitä vanhempi betoni, sitä enemmän se imee kosteutta (Merikallio 2003, 13). Vanha betoni imee kosteutta kapillaarisesti, mutta luovuttaa vain diffuusion avulla. Hydrataation edetessä kapillaarinen huokosrakenne sulkeutuu (ks. Taulukko 2) ja kapillaarinen kosteuden siirto estyy.

Vesi-sideainesuhde

Työssä käsitellään vesi-sementtisuhdetta vesi-sideainesuhteena. Betoniin voidaan lisätä erilaisia lisä- ja seosaineita. Lentotuhka on seosaine, joka toimii potsolaanina eli betonissa sideaineena. Vesi-sideainesuhde vaikuttaa betonin kuivumiseen olennaisesti. Mitä suurempi vesi-sideainesuhde, sitä kauemmin kuivuminen kestää. Suuri vesimäärä helpottaa massan työstämistä, ja sementti hydratoituu paremmin. Suuri vesi-sideainesuhde alentaa betonin lujuusominaisuuksia. Vesi-sideainesuhde vaikuttaa betonin tiiveyteen. Mitä alhaisempi vesi-sideainesuhde, sitä tiiviimpää betoni on (Merikallio 2003, 12).

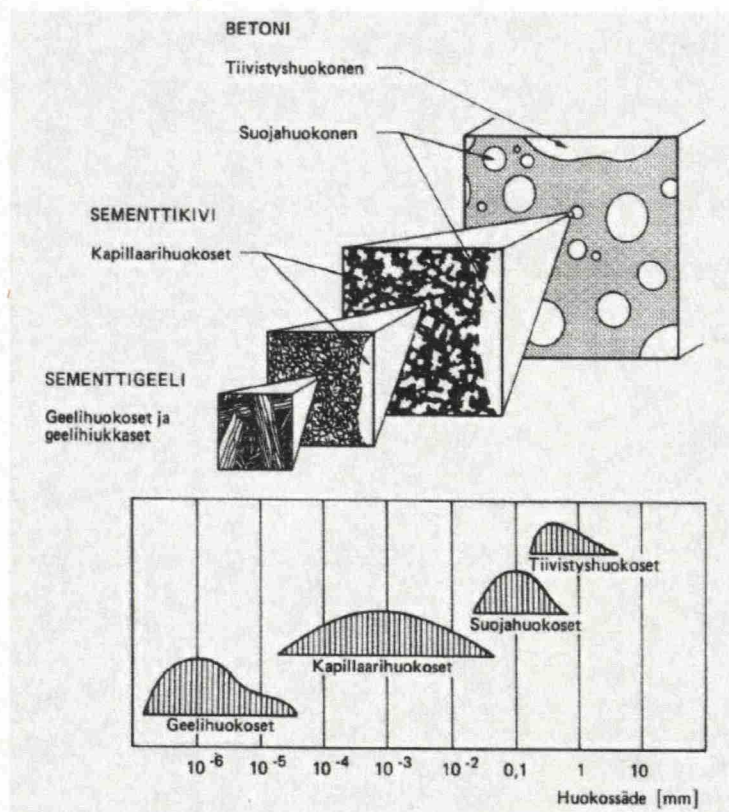
Suuri vesi-sideainesuhde pitää kapillaariverkoston yhtenäisenä pidemmän aikaa, joten kapillaarinen imu siirtää kosteutta pidempään (taulukko 2). Sementin hydratoituessa betonin huokosrakenne tiivistyy ja veden siirtyminen hidastuu. Mitä alhaisempi vesi-sideainesuhde, sitä nopeammin kapillaariverkosto katkeaa. Alhaisen vesi-

sideainesuhteen betonit sitoutumiskuivuvat nopeasti 90 % suhteelliseen kosteuteen, jonka jälkeen kosteus poistuu vain diffuusiolla. Lujuusluokka vaikuttaa betonin vesi-sideainesuhteeseen. Korkeampi lujuus saadaan nostamalla sementin määrää ja laskemalla veden määrää.

2.2.4 Betonin koostumus ja erikoisbetonit

Betonin koostumus

Betonin koostumus vaikuttaa kuivumiseen. Betonin huokosrakenne ja niiden väliset mittasuhteet on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11 Betonin huokokset ja niiden suhteet toisiinsa. (BY 201 2004, 76).

Notkistinta käyttämällä voidaan vähentää käytetyn veden määrää, jolloin saadaan pieni vesi-sideainesuhde. Notkistavilla aineilla voidaan vähentää veden määrää 5–30 % ilman että betonin työnettävyys kärsii.

Suuri hiekan osuus ja pieni karkean kiven määrä lisää veden tarvetta ja siten sementin määrää pyrittäessä tavoitelujuuteen. Suurella raekoolla voidaan alentaa veden tarvetta. Suurella raekoolla saadaan riittävä notkeus vähäiselläkin vesimäärällä.

Betonin lujuusluokkaa nostamalla käytetään enemmän sideainetta. Suuremmalla lujuusluokalla tehdään tiiviimpää betonia. Betonin huokosrakenne muuttuu tiiviiksi suuren sementtimäärän takia, jolloin myös diffuusiokuivuminen hidastuu. Huokostimia käytetään pääasiassa betonin pakkasenkestävyyden parantamiseen. Huokostimilla lisätään suojahuokosten määrää. Suojahuokokset ovat keskimäärin sata kertaa suurempia, kuin kapillaarihuokokset (kuva 11). Huokostimen muodostamat ilmahuokokset notkistavat betonimassaa, jolloin myös vesimäärää voidaan vähentää. Huokoistamalla betonia (8..10 %) betonin kuivuminen nopeutuu parhaimmillaan 50–70 % (BY 45 2000, 130). Huokoistamisen nopeuttava vaikutus perustuu vesihöyryn haihtumisnopeuden kasvattamiseen. Mitä enemmän betonissa on ilmaa, sitä suurempi on haihtumisnopeus.

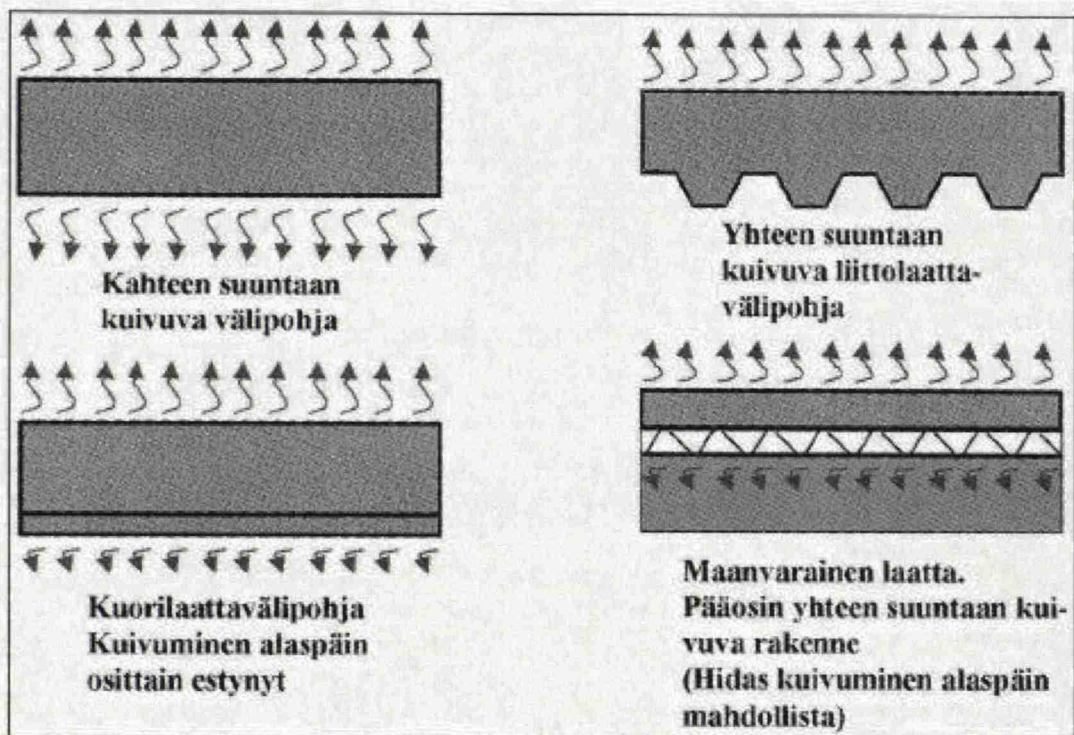
Erikoisbetonit

Nopeammin päällystettävät betonit (NP) perustuvat alhaiseen vesi-sideainesuhteeseen sekä suureen huokosmäärään. Alhainen vesimäärä saadaan notkistimia ja huokostimia käyttämällä. NP-betonia suositellaan käytettäväksi paksuissa paikallavaluholveissa, yhteen suuntaa kuivuissa rakenteissa, sekä paksuissa täyttövaluissa. (Merikallio 2003, 22.) NP-betonit kuivuvat vähintään kaksi kertaa nopeammin kuin normaali betoni. NP-betonin pinnan vedenimu ja kastuminen on hidasta ja vähäistä. NP-betonien kutistuma on huomattavasti suurempaa kuin normaalibetoneilla. NP-betoni voi kuivahtaa hitaissa valuissa. NP-betoneissa valu ja jälkihoito tulee tehdä huolellisesti. (Rudus käyttöohje 2009.)

Betonin kuivumista voidaan tehostaa imubetonoinnilla. Imubetonoinnissa ylimääräinen vesi imetään alipaineen avulla pois ennen betonin sitoutumista. Imubetonoinnilla saadaan vesi-sideainesuhteeksi 0,4–0,45. Imubetonointi on lisätyövaihe, joka aiheuttaa kustannuksia ja epätasaisia painaumia. Imukäsittely ei sovi asuinrakennukseen tilojen sokkeloisuuden ja laitteiden koon takia. (BY 201 2004, 426.)

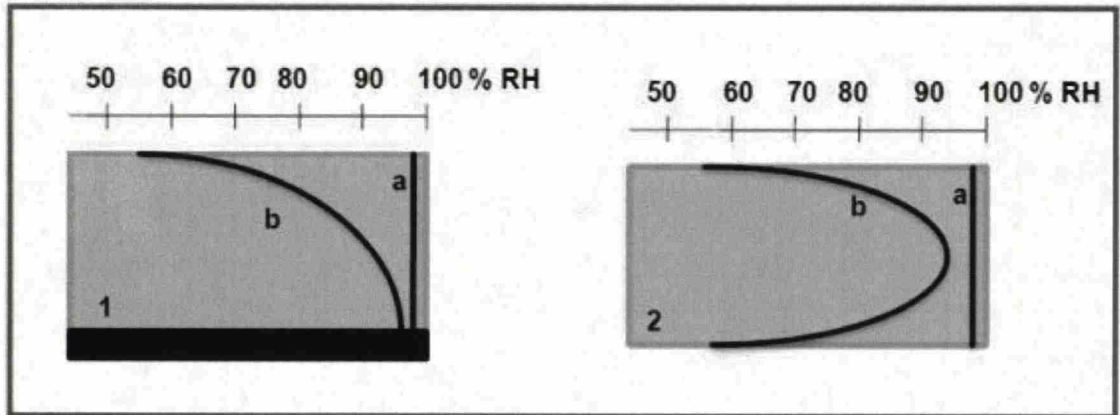
2.2.5 Rakenneratkaisu ja rakenteen paksuus

Rakenneratkaisu ja rakenteen paksuus vaikuttavat betonin kuivumiseen (kuva 12). Kosteuden kulkeman matkan pituus vaikuttaa haihtumisnopeuteen. Mitä paksumpi rakenne, sitä pidemmän matkan kosteus joutuu siirtymään rakenteen pinnalle. Kuorilaattaväli-pohjissa kuivuminen alaspäin on osittain estynyt. Maanvastainen rakenne voi kuivua alaspäin jos betonin huokosilman vesihöyryn osapaine on suurempi kuin maan vesihöyryn osapaine. Maanvastaisen betonirakenteen tulee siis olla lämpimämpää kuin maan lämpötila. Maanvastaisissa rakenteissa alaspäin kuivuminen on erittäin hidasta ja eristeen vesihöyrynvastus vaikuttaa kuivumiseen hidastavasti.



Kuva 12 Rakenneratkaisu vaikuttaa siihen miten pitkän matkan kosteus joutuu siirtymään rakenteen sisältä rakenteen haihtuvalle pinnalle. (Merikallio 2002, 35).

Kuvassa 13 on esitetty periaatekuva kosteuskakaumasta yhteen suuntaan (1) ja kahteen suuntaan (2) kuivuvassa rakenteessa. Kahteen suuntaan kuivuvan rakenteen keskellä on suurin kosteuspitoisuus. Yhteen suuntaan kuivuvan rakenteen kuivumisaika on huomattavasti pidempi kuin kahteen suuntaan kuivuvan. Yhteen suuntaan kuivuvalla rakenteella suurin kosteus on lähimpänä vesihöyryä läpäisemättömällä pinnalla, esimerkiksi liittolaatan metallipinnalla.



Kuva 13 Periaatekuva kosteusjakaumista kuivumissuuntien mukaan. (1) yhteen suuntaan kuivuva laatta, (2) kahteen suuntaan kuivuva laatta. (a) kosteus alussa, (b) kosteus jakauma kuivumisen edetessä (Merikallio 2009, 23).

2.2.6 Tasoitteen vaikutus alusbetoniin

Alusbetonin tasoitekerros vaikuttaa betonin kuivumiseen. Tasoitteet sisältävät vettä ja betoni voi absorboida kosteutta tasoitteesta. Kosteuden imeytyminen riippuu tasoitteen ominaisuuksista. Betonin suhteellinen kosteus rakenteen pintaosissa kasvaa. Pintaosat kuivuvat kuitenkin nopeasti, koska suhteellisen kosteuden nousu kiihdyttää kapillaarista kuivumista. Tasoitteen paksuus ja kuivumisolosuhteet vaikuttavat alusbetonin ja tasoitteen kuivumiseen. (Räsänen et al. 1998, 18.) Asuinkerrostaloissa lattiat tasoitetaan usein pumpattavalla ja itetasoittuvalla plaanolla. Plaanossa käytetään noin 21 % vettä per kuivapaino kilogramma. Kymmenen millin tasoitteessa kosteutta on noin $3,6 \text{ kg/m}^2$. Lattia voidaan pinnoittaa 1–3 viikon kuluttua tasoitteen valamisesta. Tasoitteen kuivumisaikaan vaikuttavat olosuhteet, tasoitteen ominaisuudet ja tasoitteen paksuus (Vetonit 4150, 2013.) Tasoite tulisi asentaa riittävän ajoissa ennen suunniteltua pinnoittamista. Tasoitekerroksen tulee kuivua päällystämättömänä. Tasoitteen kuivumista voi laskea Saint-Gobain Weber Oy Ab:n sivuilla MoistureCalc-ohjelmalla. (www.e-weber.fi)

2.3 Pinnoittaminen ja pinnoitusvauriot

Ennen pinnoittamista alusbetonin suhteellinen kosteus tulee olla materiaalienkohtaisten raja-arvojen alapuolella. Merikallion (2009) mukaan raja-arvot vaihtelevat julkaisulähteen mukaan (taulukko 3). Raja-arvo voidaan ilmoittaa painoprosentteina tai suhteellisenä kosteutena, jolloin kosteuden määrä betonissa vaihtelee betonin ominaisuuksien mukaan. Materiaalivalmistajilla on omat raja-arvot, joita tulee noudattaa. Jos materiaalivalmistajat eivät ilmoita raja-arvoa, silloin tulee noudattaa SisäRYL 2000 julkaisun arvoja (Merikallio 2009, 56).

Betoni kestää hyvin kosteutta. Alusbetonin liiallinen kosteus voi aiheuttaa pintamateriaalien kiinnitykseen sideaineessa ja pintamateriaaleissa kemiallisia hajoamisreaktioita, sekä mikrobikasvustoa. Kemiallisista reaktioista ja mikrobikasvustoista voi haihtua sisäilmaan erilaisia haitallisia yhdisteitä. Kosteus voi värjätä pinnoitemateriaaleja, sekä heikentää päällysteen kiinnityksen sideainetta niin, että pinnoite irtoaa. Materiaaleja tulisi kehittää siihen suuntaan, että ne kestävät enemmän kosteutta.

Betonirakenteen muodonmuutoksista merkittävin on kutistuma. Kutistuma johtuu pääosin betonin kuivumisesta. Kuivumisesta johtuvaa muodonmuutosta voidaan vähentää lisäämällä liikuntasauvoja, käyttämällä muodonmuutoskykyistä kiinnityksainetta, alhaisella sementtimäärällä, alhaisella vesi-sideainesuhteella, runkoaineen suurella määrällä ja runkoaineen suurella maksimiraekkoolla. Kutistuminen aiheuttaa usein kylpyhuoneissa kopolaattoja eli laatoitus on irronnut alustasta, mutta pysyy vielä seinällä esimerkiksi saumausaineen ansiosta. ”Pintarakennejärjestelmän tai päällysteen muodonmuutoskyvyn tulee aina olla suurempi kuin betonipinnan oletettu kutistuma päällystyksen jälkeen.” (Merikallio et al. 2007, 36).

Betonilattioissa ilmenevät kosteusvauriot ovat jopa viisi kertaa kalliimmat kuin asennusaikaiset kustannukset (Merikallio 2009, 1). Vauriot ilmenevät useimmiten käyttöönoton jälkeen. Käyttöönoton jälkeiset vauriot kuuluvat takuun piiriin. Oikein suunniteltu ja huolellisesti tehty lattiarakenne on taloudellisesti kannattavaa.

Taulukko 3 Eri julkaisuissa alustabetonin suhteellisen kosteuden raja-arvo ennen pinnoittamista (Merikallio 2009, 37).

Alustabetonin suhteellisen kosteuden RH (%) enimmäisarvot päällystyshetkellä				
Päällystemateriaali	SisäRYL 2000	by45/BLY7 Betoni lattiat 2002	by47 Betoni rakentamisen laatuohjeet 2007 ¹⁾	Betoni rakenteiden päällystämisen ohjeet (2007) ^{1) 2)}
Alustaan liimattava lautaparketti (ilman puun ja betonin välistä kosteudeneristystä)	60 %	85 %	-	85 % (normaalibetoni) 90 % (v/s < 0,5)
Mosaiikkiparketti	80 %	80 % (pinta < 75 %)	85 % 90 % (v/s < 0,5)	85 % 90 % (v/s < 0,5)
Kelluva lautaparketti (puun ja betonin välissä kosteudeneristys)	80 %	90 %	85 % 90% (kosteutta kestävä tasoite tai ei tasoitetta)	85 %
Laminaatti (puun ja betonin välissä kosteudeneristys)	80 %	-	85 %	85 %
Huopa ja solumuovipohjaiset muovimatot	85 %	85 %	85 %	85 %
Muovimatot ilman huopa- tai solumuovipohjaa	90 %	90 %	85 %	85 %
Kumimatot	85 %	85 %	85 %	85 %
Linoleumi	90 %	90 %	85 %	85 %
Tekstiilimatot, joissa alusrakenne	85 %	85 %	85 %	85 %
Täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta	90 %	90 %	90 %	90 %
Muovilaatat	90 %	90 %	90 %	90 %

1) Kaikkien materiaalien kohdalla lisäksi, että betonin suhteellinen kosteus rakenteen pintaosissa 1-3 cm:n syvyydellä on alle 75 %.

2) Julkaisussa *Betoni lattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen* (2007) on samat arvot.

2.3.1 Pinnoitemateriaalien ominaisuudet

Kosteus siirtyy rakenteen syvemmistä osista pinnalle ajan myötä. Kosteusjakauma pyrkii tasoittumaan. Pinnoitettavan materiaalin vesihöyryn läpäisevyys vaikuttaa suuresti siihen syntykö kosteusongelmia. Jos syvemmältä betonista siirtyy kosteutta rakenteen pinnalle nopeammin kuin pintamateriaali päästää läpi, niin riskinä on kosteuspitoisuuden nouseminen pinnassa ja pinnoitteen vaurioituminen. ”Kokemuksen mukaan tiiviin päällysteen alla kosteus nousee enimmillään siihen arvoon, mikä kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa vallitsi ennen päällystämistä syvyydellä $0,2 \cdot$ rakenteen paksuus” (BY 201 2004, 435).

Kelluvien pintamateriaalien, kuten parketin ja laminaatin, alle asennetaan askelääntä eristävä alusmateriaali. Alusmateriaalit läpäisevät vesihöyryä huomattavasti hitaammin kuin pinnoitemateriaali. Alusmateriaali päästää vesihöyryä läpi niin, että kosteus ei keräänny alusmateriaalin alle, eikä pintamateriaaliin siirry kosteutta kriittistä määrää. (Merikallio et al. 2007, 17.)

Liimattavien pintamateriaalien, kuten parketin alustabetonin suhteellinen kosteus tulisi olla 1–3 cm syvyydellä alle 75 %. Betonista syvemmältä pintaan siirtyvä kosteus haihtuu alustaan liimatun parketin läpi kerääntymättä haitallisesti parketin alle. Parketin lakkaus hidastaa hieman kosteuden siirtymistä parketin läpi. (Merikallio et al. 2007, 22.) SisäRYL suosittelee alustaan liimattavien parkettien alustabetonin suhteelliseksi kosteudeksi 60 %.

Muovi-, linoleumi-, tekstiili- ja kumimatot ja kumilaatat kiinnitetään alustaan liimamalla. Materiaalin vesihöyrynläpäisy vaikuttaa siihen, miten päällysteen alle kertyy kosteutta. Liian tiiviillä materiaalilla päällysteen alle voi kerääntyä kosteutta, mikä aiheuttaa kemiallisia hajoamisreaktioita, sekä mikrobikasvustoa. (Merikallio et al. 2007, 31.)

Maanvastaisissa lattioissa kosteuden suunta voi olla kesäisin maaperästä alustabetoniin. Kosteutta siirtyy, jos maaperän lämpötila on suurempi kuin betonin lämpötila. Kosteusongelmia voi tapahtua kaikille materiaaleille. Maanvastainen lattia tulee tehdä riittävällä kapillaarikatkolla, toimivalla salaojituksella, sekä varustaa lattialämmityksellä.

3 Tutkimusmateriaali

3.1 Tutkimuksen Case-kohteen perustiedot

Tutkimuksen case-kohteeksi valittiin Energiatalo Onnelanpolku Lahdesta (kuva 14). Rakennuksen tarkasteltava alue oli lounaiskulmassa sijaitseva C-osa. Yleistietoa tarkasteltavasta kohteesta:

- KVR-urakka, YIT Rakennus Oy
- Hankkeen laajuus 16335 brm²
- Rakennusaika 1/2012–6/2014
- 228 asuntoa vanhuksille ja muistihäiriöisille, 103 autopaikkaa
- Hankkeen kokonaisarvo 36 miljoonaa euroa
- Primäärienergiankulutus < 60kWh/m² (energiankulutustavoite sakollinen)
- Ilmavuotoluku < 0,4 l/h
- Puhtausluokka P1
- Sisäpihalla atrium, joka toimii ”energia-akkuna”
- Kokonaisenergiankulutuksesta 20 % saadaan aurinkoenergialla
- Ylilämpeneminen ensisijaisesti rakenteellisesti ja passiivisesti
- Kohteen suunnittelu tehdään mallintamalla



Kuva 14 Havaintokuvat Energiatalo Onnelanpolusta. (YIT [www-sivut](http://www.yit.fi))

3.2 Kriittiset pinnat

Kriittisiksi pinnoiksi määriteltiin kylpyhuoneet, asunnot ja käytävät. Kriittisiksi pinnoiksi katsottiin myös asuntojen väliset kantavat seinät, joiden kylpyhuoneiden molemmin puolin asennettiin vedeneriste. Kylpyhuoneissa vedeneristeenä käytettiin Vetoni WP vedeneristysmassaa. Ennen vedeneristysmassaa alusta käsiteltiin kosteussululla. Tuoteohjeen mukaan alustan suhteellinen kosteuden tulee olla alle 90 % ennen vedeneristemassan asentamista. (Vetonit WP tuotekortti 2012).

Asuntoihin oli määritelty Tarkett IQ Optima Acoustic muovimatto. Alustan suhteellinen kosteus saa olla rakenteen arviointisyvyydellä A korkeintaan 85 % ja lisäksi suhteellinen kosteus syvyydellä 0,4 * A korkeintaan 75 % (Tarkett asennusohje 2012).

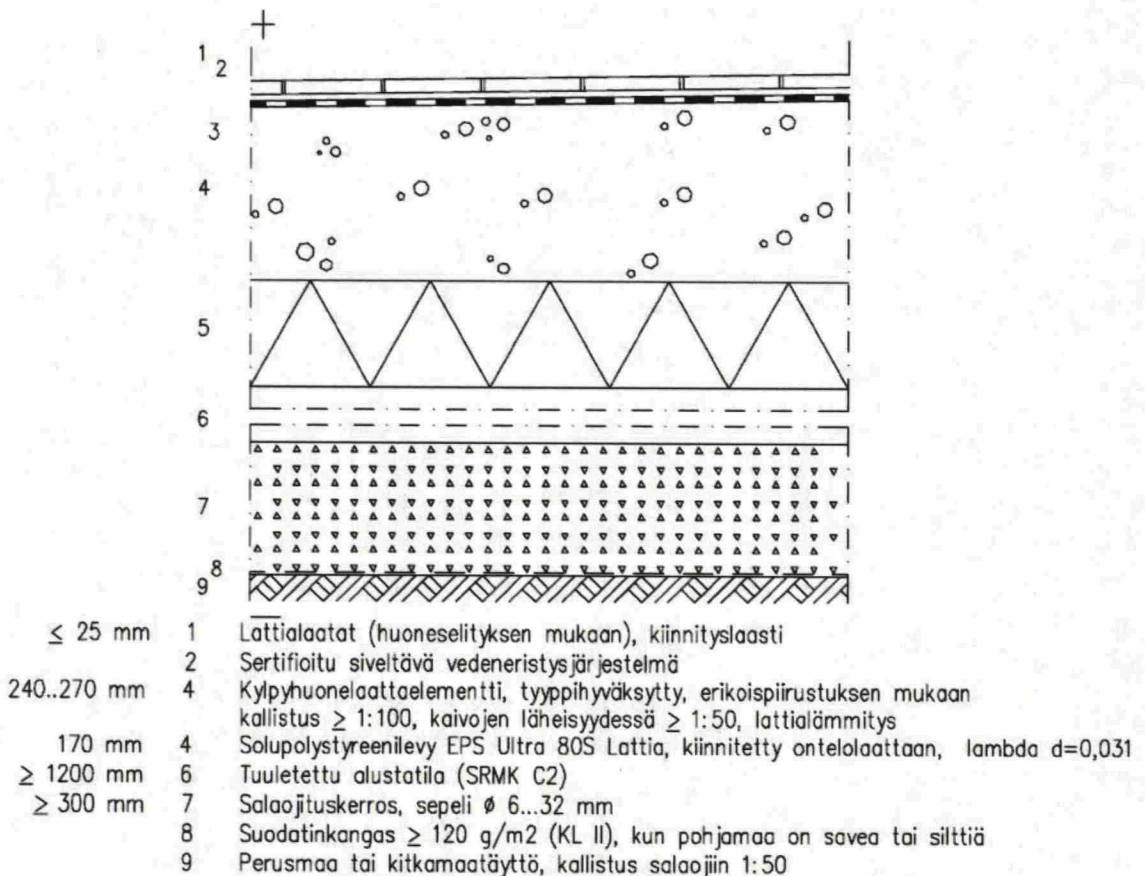
Käytävälle oli määritelty Noraplan Signa Acoustic kumimatto. ”Alustan kosteusprosentti saa olla korkeintaan 3,3 % 2 cm:n syvyydestä mitattuna (karbidimenetelmä), suhteellinen kosteus < 85 % ” (Nora asennusohje 2011). Merikallio (2009) on tutkinut raja-arvojen kosteuspitoisuuden ilmoittamista päätyen epäselviin käytäntöihin ja maakohtaisiin ilmoitustapoihin. Taulukon 3 julkaisut ilmoittavat alustan suhteellisen kosteuden 85 % kumimatolle rakenteen arviointisyvyydellä A. Lisäksi Betonirakentamisen laatuohjeet 2007 ja Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet 2007 määrittävät rakenteen pintaosien suhteelliseksi kosteudeksi 75 % syvyydellä 1–3 cm. Noraplanin asennusohjeesta sai käsityksen, että 2 cm syvyydellä suhteellinen kosteus tulisi olla 85 %.

3.3 Tarkasteltavat rakenteet

Alapohja

Tarkasteltavana rakenteena oli ryömintätilaan rajoittuva alapohja (kuva 15). Torkasohjelmassa ei ole ryömintätilaan rajoittuvaa alapohjaa. Vaihtoehtona käytettiin maanvastaista laattaa. Alapohjana on tekniikkalaatta, jossa on EPS-eriste alapohjassa. EPS-eristeen diffuusiovastus hidastaa kuivumista alaspäin. Tekniikkalaattaan asennettiin tehtaalla viemärit, lattiakaivot, lattialämmityskaapelit tai -putket, ja laattaan muotoiltiin kaadot.

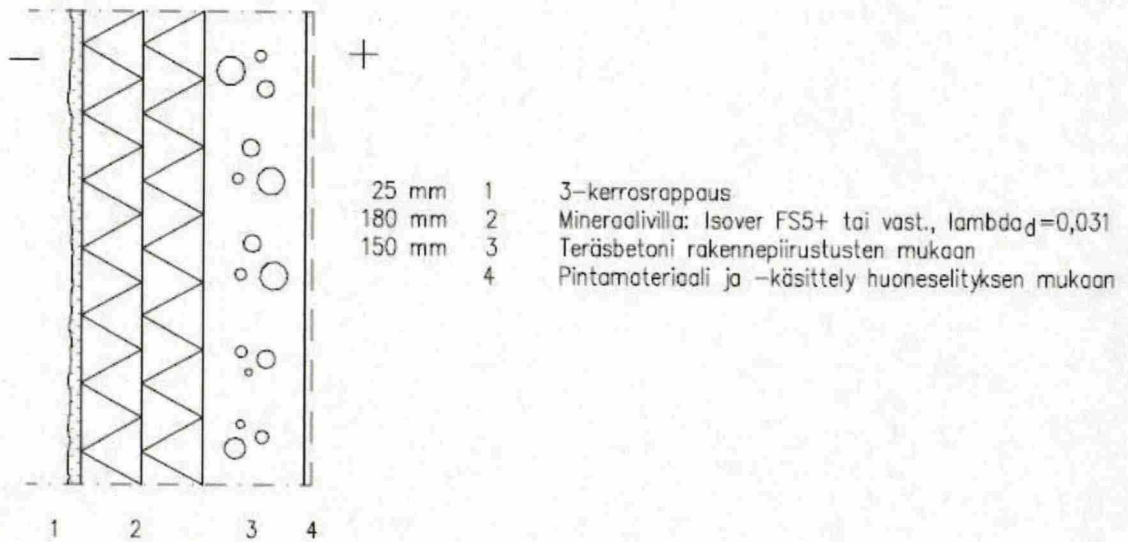
Suhteellisen kosteuden määrittävä materiaali kylpyhuoneissa oli vedeneristys. Vedeneristysenä käytettiin Weber Vetonit WP vedeneristysmassaa. Alustan suhteellinen kosteus sai olla enintään 90 % (Vetonit WP tuotekortti 2013). Muualla asunnoissa käytettiin kumimattoa. Alustan suhteellinen kosteus sai olla rakenteen arviointisyvyydellä A korkeintaan 85 % ja lisäksi suhteellinen kosteus syvyydellä $0,4 \cdot A$ korkeintaan 75 %.



Kuva 15 Tarkasteltavana ollut ryömintätilaan rajoittuva alapohjarakenne.

Ulkoseinä

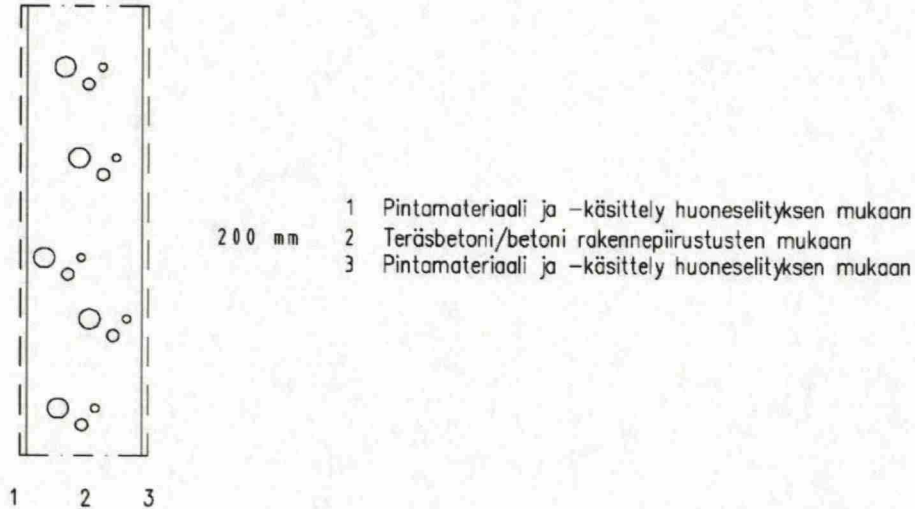
Ensimmäisen kerroksen kylpyhuoneen mittauspisteen seinä rajoittui ulkoseinään (kuva 16). Rakenne kuivui osittain ulos. Mineraalivillan diffuusiovastus vastustaa ulospäin tapahtuvaa kuivumista hiukan, mutta ei kuitenkaan niin paljon kuin EPS- tai PUR-eriste (Ormiskangas 2009, 112). Seinän sisäpuoli käsiteltiin vesieristeellä ja laatoitettiin. Ulkoseinän kosteuskäyttäytymiseen vaikuttaa tuuli, auringon säteily, paine-erot, lämpötilat rakenteen eri puolilla, rakennekosteus ja sade. Muissa tarkasteltavissa rakenteissa rakenteet olivat ulkoisilta kosteuslähteiltä suojassa, kun rakenne oli tiivis. Torkas-ohjelmassa ulkoseinää käsiteltiin maanvastaisena rakenteena, joten ulkopuoliset olosuhteet eivät vaikuttaneet kuivumiseen.



Kuva 16 Tarkasteltavana ollut ulkoseinärakenne.

Väliseinä

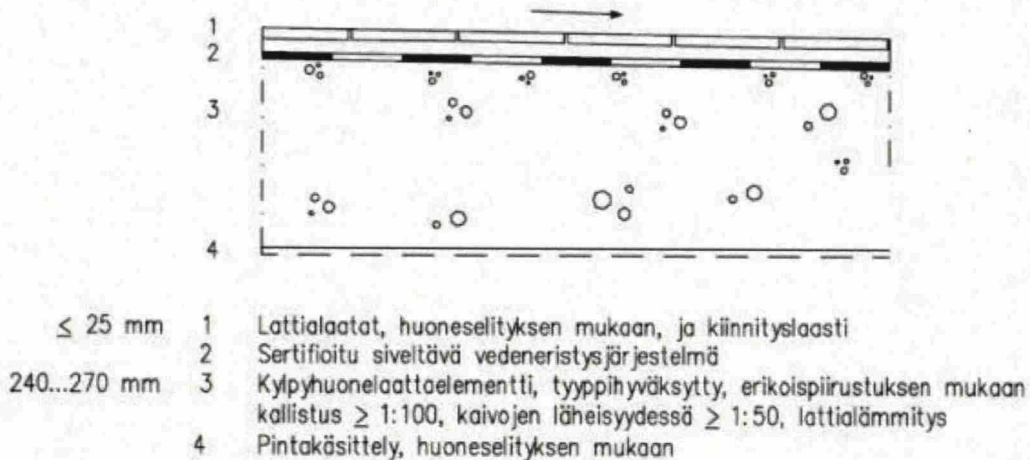
Väliseinä oli kahteen suuntaa kuivuva kantava väliseinä (kuva 17). Osassa mittapisteitä pinnoitteena oli vedeneriste molemmanpuolin ja osassa vain tasoite ja maalaus molemmanpuolin. Kun vesieriste asennettiin molemmin puolin, rakenne ei enää kuivunut.



Kuva 17 Tarkasteltavana ollut väliseinärakenne.

Välipohja

Tarkasteltavien välipohjien rakenteena oli tekniikkalaatta (kuva 18). Rakenne kuivui kahteen suuntaan ennen vedeneristeen tai muovimaton asentamista. Vedeneristysmassan asentamisen jälkeen rakenne kuivui ainoastaan alaspäin. Välipohjan pinnoitemateriaalit olivat samat kuin alapohjarakenteessa. Asuntojen lattiat tasoitettiin Vetonit 4150 Plus Plaanolla. Lattiatasoitteen paksuus asunnoissa oli noin 20 mm. Puolet lattioista tasoitettiin 17.1.2013 ja toinen puolikas 29.1.2013.



Kuva 18 Tarkasteltavana ollut välipohjarakenne.

3.4 Ympäristön olosuhteet ja suhteellisen kosteuden mittaus

Sisäilma

Sisälämpötilat mitattiin CEM DT-321S kosteus- ja lämpömittarilla. Mittari mittaa lämpötilan, suhteellisen kosteuden, kastepisteen ja märkälämpötilan. Mittaukset suoritettiin 7.2.2013–25.3.2013. Mittaushetkellä kello oli noin 12. Mittauksia tehtiin kolme kappaletta jokaisesta kerroksesta ja laskettiin keskiarvo lämpötilalle, sekä suhteelliselle kosteudelle. Mittauskohteet kerroksissa valittiin sattumanvaraisesti. Mittarin annettiin tasaantua mittauskohteessa noin viisi minuuttia. Mittari oli uusi, mutta kalibrointipäivämäärää ei ollut tiedossa.

Lämpötila sisällä arvioitiin olevan ennen lämmitystä olevan lähes sama kuin ulkoilman lämpötila. Ikkunoiden ja parvekkeiden kohdilla oli muoviset suojat, joiden tilalle asennettiin myöhemmin lopulliset ikkunat ja ovet. Lämmitys aloitettiin viikolla 45/2012. Rakenne katsottiin tiiviiksi, kun rakenteen yläpuolella oli kaksi kerrosta tiivistä holvia. Lämpötilat arvioitiin välillä 45/2012–6/2013 ja välillä 7.2.2013–25.3.2013 mitattiin lämpötilat.

Ulkoilma

Ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus saatiin ilmatieteenlaitokselta. Mittauspisteenä oli Launeen mittauspiste Lahdessa. Tarkasteltava aikaväli oli 5.9.2012–25.3.2013. Lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin kello 12 aikaan. Torkas-ohjelmaan ei voi merkitä sademäärää millimetreinä, ainoastaan onko kyseisenä päivänä satanut.

Suhteellisen kosteuden mittaus

Betonirakenteiden suhteellisia kosteuksia mittasi Cramo Finland Oy:n sertifioitu kosteusmittaushenkilö. Suhteellisen kosteuden mittaus suoritettiin osittain RT 14-10984-kortin mukaisesti. Suuressa osassa mittauksia mittauspinnan pinnasta. Mittaukset suoritettiin Vaisala HMP44 mitta-anturilla ja HMI44 näyttölaitteella. Vaisala mittalaitteiden kalibrointipäivämäärät löytyvät liitteestä 1. Mittauksia tehtiin yhteensä 90 kappaletta. ”Mittautulosten kokonaistarkkuus (huomioiden mittausolosuhteiden, mittauksen ja antureiden sekä näyttölaitteen aiheuttamat poikkeamat) on $\pm 5\%$ RH” (liite 1). Mittaukset tehtiin viidestä eri kerroksesta. Mittauspöytäkirja löytyy liitteestä 1.

4 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelminä käytettiin erilaisia betonin kuivumisaika-arviointi taulukoita ja tietokoneohjelmia. Eri menetelmien tuloksista tehtiin Excel-kaaviot ja vertailtiin korrelaatioita. Koetuloksia verrattiin toisiinsa, sillä oletuksena oli, että menetelmät eivät näyttäneet samaa tulosta. Korrelaatiota ja lineaarista riippuvuutta tarkasteltiin Statistix-ohjelmalla. Kaikista menetelmistä ei saatu samoja muuttujia vertailukelpoisiksi. Osassa menetelmiä jouduttiin väliarvoja interpoloimaan ja ekstrapoloimaan. Kirjallisuudesta haettiin vastauksia niille muuttujille, joita ei pystytty ohjelmilla tai taulukoilla testaamaan.

4.1 Kuivumisen arviointi

Betonin kuivumisen arviointi on hankalaa, koska kuivumiseen vaikuttavat lukuisat eri muuttujat. Monet muuttujat muuttuvat ajan myötä, kuten suhteellinen kosteus ja hydraatioaste (ikä). Kuivuminen tapahtuu epälineaarisesti (Xin et al. 1995, 144). Betonin kuivumiseksi ei ole yleisesti hyväksyttyä laskentakaavaa. Peruskaavoina käytetään muun muassa Fickin lakia, Laplacen yhtälöä, Darcyn lakia ja Lewisin lakia. Tekniikan tohtori Holmbergin mukaan erilaiset kuivumisen mallit muokataan vastaamaan yhtä tapausta varten, jatkotutkimuksien lisärahoituksen saamiseksi. Holmbergin sanoin ”mallit ovat vain malleja, jotka eivät täysin vastaa todellisuutta”. (Holmberg 2012.)

Betonin kuivumisen arvioimiseksi on erilaisia taulukoita, ohjelmia, laskentamenetelmiä sekä vanha sanonta ”sentti per viikko riittää kuivumiseen”. Seuraavissa osioissa on esitetty erilaisia menetelmiä betonin kuivumisen arvioimiseen. Eri variaatioiden laatiminen vaihtelee menetelmien mukaan suppeasta monipuoliseksi.

4.2 MoistureCalc

Tasoitteen kuivumista tutkittiin Saint-Gobain Weber MoistureCalc-ohjelmalla.

Suhteellinen kosteus mitataan 40 % syvyydeltä, eli tasoite kuivuu vain yhteen suuntaan.

Ohjelmassa muuttujiksi valitaan:

- lattiatasoite
- tasoitteen paksuus
- sisäilman lämpötila ja kosteus

Laskentaohjelmalla voi ilmoittaa tulokset suhteellisen kosteuden mukaan tai karbidimitarilla mitattujen arvojen mukaan. Tulokset voidaan valita perustuen päivien määrään,

määrättyyn suhteelliseen kosteuteen, tai käytettävän lattiapäällysteen mukaan. Liitteessä 2 on kuva MoistureCalc ohjelmasta. Ohjelma on käytettävissä osoitteessa www.e-weber.fi

4.3 Lathund

Betongtorkning – Lathund taulukkolaskelman on kehittänyt Svenska Byggbranschens UtvecklingsFond (SBUF) vuonna 1995. Taulukon muuttujista valitaan:

- haluttu suhteellinen kosteus
- rakenteen paksuus
- rakenneratkaisu; yhteen suuntaan tai kahteen suuntaan kuivuva
- ympäristön lämpötila ja suhteellinen kosteus
- altistuminen kosteudelle
- vesi-sideainesuhde

Taulukon kertoimilla saatiin tulokseksi arvio kuivumisesta päivinä. Puuttuvia väliarvoja oli testeissä interpoloitu ja ekstrapoloitu tarpeen mukaan. Liitteessä 3 on Betongtorkning Lathund-tilukko.

4.4 BLY 7

Maanvastaisen lattan kuivuminen löytyy BY 45 / BLY 7 kirjasta. Taulukko toimii samalla periaatteella kuin SBUF:n kehittämä taulukkolaskentamenetelmä. Menetelmässä on vain 90 % tavoitekosteus. Menetelmän perustapaukselle on määritelty kuivumisajaksi 60 päivää. Perustapauksena on 100 mm paksu maanvastainen laatta. Perustapauksesta poiketessa, 60 päivää kerrotaan eri kertoimilla ja kestoksi saadaan arvio päivinä. Menetelmän muuttujia ovat:

- huokoistusprosentti
- betonin ikä kuivumisen alussa
- kuivumisolosuhteet
- laatan paksuus
- alapuolinen lämmöneriste
- betonin koostumus (raekoko, seosaineet, notkeus)

Puuttuvia väliarvoja oli kokeissa interpoloitu ja ekstrapoloitu tarpeen mukaan. Liitteessä 4 on BLY 7-tilukko.

4.5 RTT-paikallavalurakentaminen

Betoniteollisuuden teknologiaohjelman 1992–1995 paikallavalurakentamista käsitelleen projektin osana syntyi Kim Johanssonin tekemä arviointimenetelmä. Johansson oli kehitellyt menetelmän Teknillisessä Korkeakoulussa. Menetelmän muuttujavaihtoehtoja ovat:

- rakenneratkaisu
- raekoko
- kuivumisolosuhteet
- rakenteen paksuus
- lujuusluokasta ja ilmamäärästä.

Taulukon väliarvot interpoloitiin lineaarisesti. Todelliset vaihtoehdot jäivät hyvin suppeiksi. Liitteessä 5 on RTT-paikallavalurakentamisen / Johanssonin menetelmä.

4.6 BY 1021

Betonirakenteiden kuivuminen BY 1021 on laadittu Tekninen Rakentaminen TERA 2002 projektin osana. ”Kuivumisen arviointiohjeiden tavoitteena on toimia rakennustyömaiden työkaluna aikataulua ja kosteudenhallintaa suunniteltaessa.” Arviointiohjeisto perustuu Humittest Oy:n vuosina 1995–2001 tehtyihin työmaatutkimuksiin ja mittauksiin. (Merikallio 2002, 3.) Betonirakenteiden kuivuminen löytyy kirjallisena (Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivuminen arviointi 2003) sekä Betoniyhdistys r.y.:n www-sivuilta yksinkertaisena tietokoneohjelmana.

Valitaan rakenne:

- maanvastainen teräsbetonilaatta
- massiivinen teräsbetonilaatta – välipohja/väliseinä
- liittolaattavälipohja
- kuorilaattarakenteet
- ontelolaattavälipohjat
- ontelolaatta + lattiatasoite
- ontelolaatta + pintabetonivalu
- kololaatta + jälkivalu
- kerrokselliset betonilaatat

Seuraavaksi määritetään tavoiteltu suhteellinen kosteus 90 % tai 85 %. Peruskuivumiskäyrästä luetaan tavoitekosteutta vastaava aika viikkoina. Peruskuivumisaika viikkoina kerrotaan eri kertoimilla: vesisideainesuhde, rakenteen paksuus, kastumisaika ja kuivumisolosuhteet. Tulokseksi saadaan arvioitu kuivuminen viikkoina. Kuivumisen katsotaan alkavan siitä, kun rakenne ei saa enää lisäkosteutta. Puuttuvia väliarvoja oli kokeissa interpoloitu ja ekstrapoloitu tarpeen mukaan. Mittaustarkkuutta ei ole ilmoitettu. ”Kuivumisaika-arviot ovat suuntaa-antavia ja tarkoitettu käytettäväksi rakennusaikataulujen ja kuivatuksen suunnitteluun. Todellinen varmuus rakenteen kosteustilasta saadaan vain mittaamalla betonin kosteus” (Merikallio 2002, 38). Liitteessä 6 on BY 1021 arviointiohje.

4.7 TorkaS

TorkaS 3.2 on Lundin yliopiston kehittämä betonin kuivumisen laskentaohjelma. Laskentaohjelma perustuu kokeellisesti määritettyihin betonin ominaisuuksiin ja ympäristön olosuhteisiin. Numeerinen laskenta pohjautuu epälineaarisiin diffuusioyhtälöihin. Menetelmässä vaikuttavat muuttujat ja niihin vaikuttavat tekijät:

- hydrataatioaste, johon vaikuttavat suhteellinen kosteus, lämpötila ja vesisideainesuhde
- tasapainokosteus, johon vaikuttavat vesi-sideainesuhde ja hydrataatioaste
- kosteudensiirto-ominaisuudet, johon vaikuttavat suhteellinen kosteus, vesisideainesuhde ja hydrataatioaste
- veden kemialliset sidokset, johon vaikuttaa hydrataatioaste
- kosteuden siirtyminen aika-askeleella
- alkalin vaikutus suhteelliseen kosteuteen ja tasapainokosteuteen

(Arfvidsson et al. 2012, 4.)

Arkiv Hjälp

Förutsättningar | Torkklimat | Resultat | ⊞ Beräkna

☒ Platta på mark
☐ Mellanbjälklag

År: 2013 Månad: 3

Vecka	Mån	Tis	Ons	Tor	Fre	Lör	Sön
9					1	2	3
10	4	5	6	7	8	9	10
11	11	12	13	14	15	16	17
12	18	19	20	21	22	23	24
13	25	26	27	28	29	30	31
14							

Gjutning
 Tätt hus
 Styrd torkn.
 Slut

☐ Aktivera fler inställningar

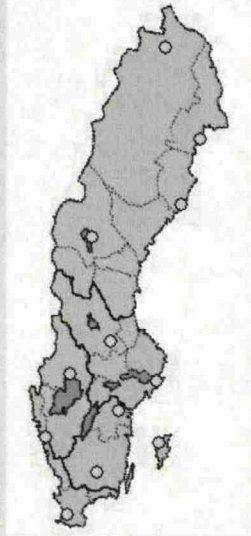
Betongtjocklek: 10 cm

Vct: 0,60

Vattenhalt: 180 l/m³

Cementhalt: 300 kg/m³

Ort: Ej vald

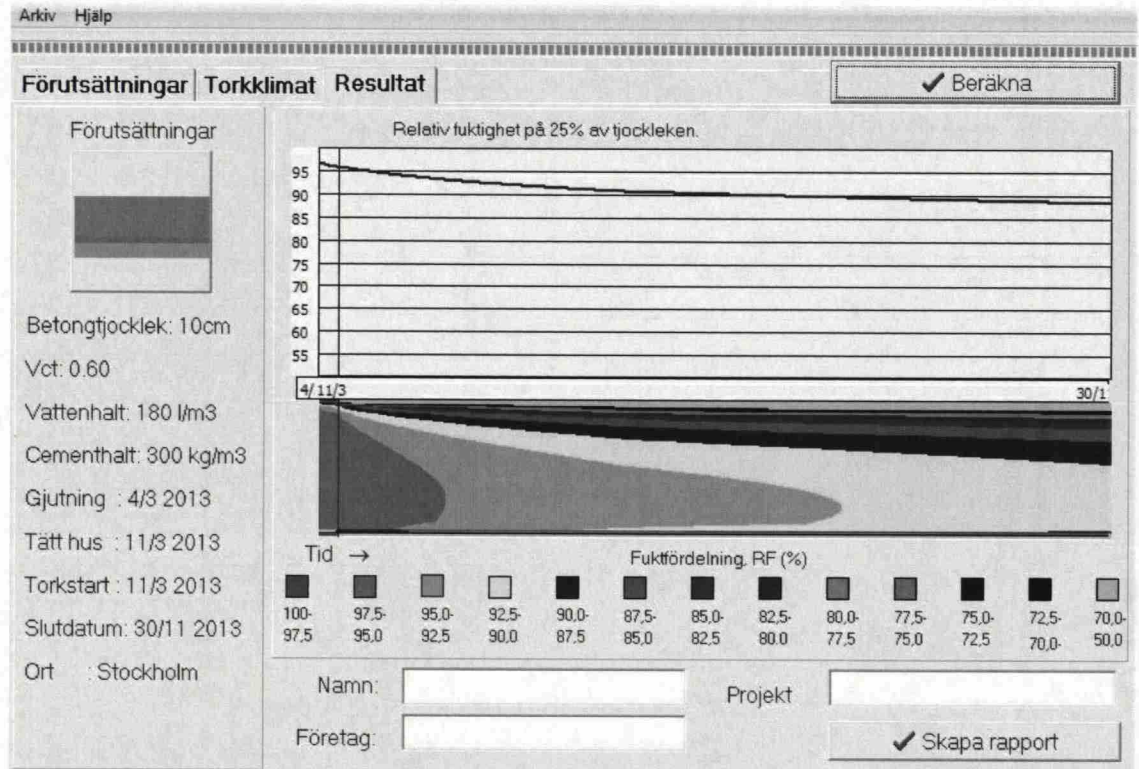


Kuva 19 Asetussivu TorkaS-ohjelmasta

Torkas-ohjelmassa voidaan valita (kuva 19):

- rakenneratkaisu ja kuivumissuunnat
 - maanvaraiset alapohjat
 - välipohjat
- rakenteen paksuus
- päivämäärät
 - valupäivä
 - ylimääräisen vedenpääsy estetty (rakennus tiivistetty)
 - lämmityksen aloitus
 - pinnoituksen aloitus (RH arviointipäivä)
- vesi-sementtisuhte
 - sementtimäärä
 - vesimäärä
- ympäristön olosuhteet
 - ennen lämmitystä (RH, T, Sade)
 - lämmityksen jälkeen (RH, T)
- betonin lämpötila valuhetkellä

Torkas-ohjelma näyttää tulokset värikoodeilla ja kuvaajana (kuva 20). Kuvaajasta näkyy tarkka päivämäärä, jolloin rakenne on saavuttanut halutun suhteellisen kosteuden. Ohjelmasta saa myös Exceleissä muokattavan taulukon, josta saa suhteellisen kosteuden eri syvyyksiltä. Ohjelmalla on mahdollista myös tulostaa raportti rakenteesta, kuivumisesta, sisä- ja ulkoilmasta, sekä suhteellisen kosteuden kehityksestä päivämäärien mukaan.



Kuva 20 Tulossivu TorkaS-ohjelmasta.

Torkas-ohjelman käynnistyessä ilmoitetaan mittaustarkkuudesta. Esimerkkinä suhteellinen kosteus 85 % ja mittausepävarmuus 2 % RH, ohjelma näyttää suhteellisen kosteuden olevan 83 %. Ruotsalaisen Rådet för ByggKompetensin (kouluttaa ja sertifioi kosteusmittaajia) mukaan suhteellisen kosteuden mittausepävarmuus on 2–3 prosenttiyksikön välillä. Ohjelmalla vertailtiin suhteellisen kosteuden arvoja 90 %, 88 % ja 87 %. Ohjelma ilmoittaa yli vuoden kestävä tarkastelun tulokset olevan epävarmoja, joten seuranta rajoitettiin 365 päivään. Torkas-ohjelma valittiin tarkasteltavaksi menetelmäksi monipuolisten variaatiovaihtoehtojen takia. Torkas-ohjelma oli myös menetelmistä uusien. Muilla kuivumisen arviointimenetelmillä variaatiomahdollisuudet jäivät kovin suppeiksi. BY 1021-, Lathund- ja RTT-menetelmillä tehtiin vertailevia tuloksia niihin tapauksiin, joihin se oli mahdollista.

5 Muuttujien vaikutus

Muuttujien vaikutusta on tutkittu kokeellisesti laboratorio- ja työmaaolosuhteissa. Kirjallisuudesta löytyy paljon erilaisia kuvaajia betonin kuivumiseen tietyn muuttujan vaihtuessa. Yksittäisen muuttujan vaikutusta tutkittiin Torkas-ohjelmalla. Torkas-ohjelmasta saatuja tuloksia verrattiin muihin menetelmiin. Torkas-ohjelma ilmoittaa mittaepävarmuudeksi 2–3 % RH. Tavoitekosteu- den ollessa 85 %, Torkas-ohjelmasta tulostetaan 88 % RH ja 87 % RH tulokset. Tavoitekosteu- den ollessa 90 % tulostetaan ohjelman 90 % näyttämä tulos. Tähän päädyttiin kokeilujen perusteella.

Kaikkien muuttujien tarkastelun perustapauksena käytettiin tekniikkalaattaa. Tekniikkalaattoja oli case-kohteessa 179 kappaletta. Vesi-sideainesuhde saatiin elementtitoimittajilta. Mitattu vesi-sideainesuhde vaihteli 0,48–0,55. Tekniikkalaatat on tarkoitus tehdä alhaisella vesi-sideainesuhteella, jotta saavutetaan suuri lujuus. Vesi-sideainesuhde arvoksi valittiin 0,50.

Muuttujavaihteluiden perusvakiot olivat:

- Laatan paksuus 270 mm
- Kahteen suuntaan kuivuva
- Vesi-sideainesuhde 0,50 (vesi 200 l/m³, sideaine 400 kg/m³)
- Lämpötila 18 °C, suhteellinen kosteus 50 %

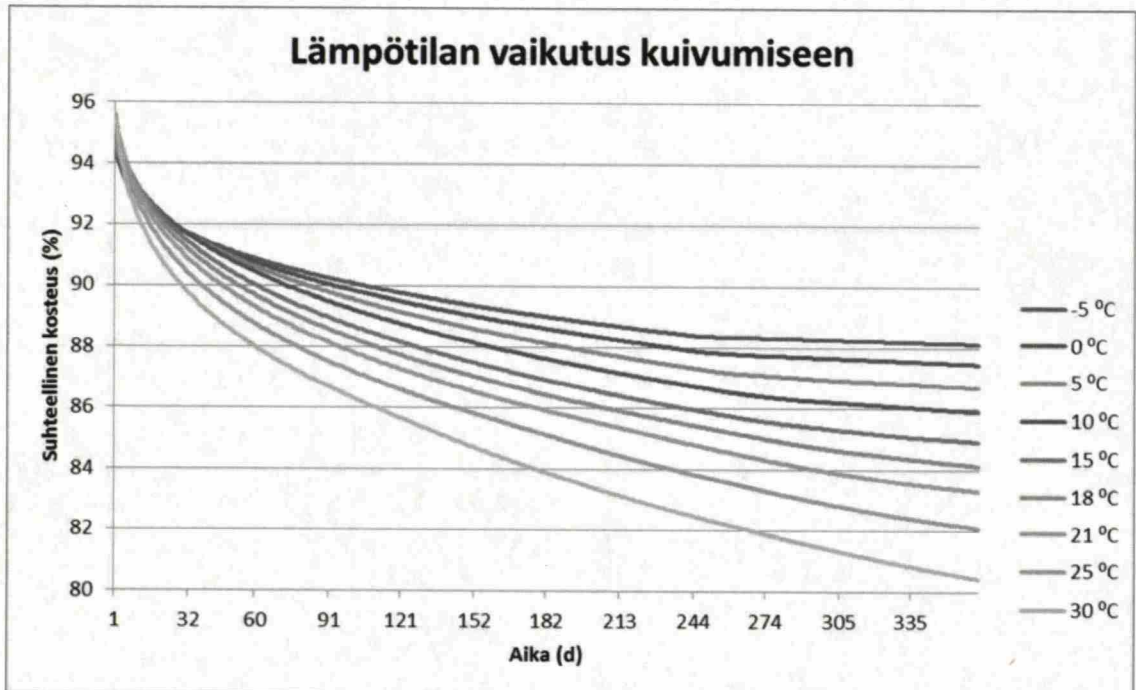
Suhteellinen kosteus mitattiin 20 % laatan paksuudelta eli 54 mm syvyydeltä. Torkas-ohjelmalla kuivumisaika oli määritelty vuoden mittaiseksi. Yli vuoden mittaiset tulokset eivät ole tarkkoja Torkas-ohjelmalla. Muuttujia testattiin nollasäällä eli sade ei vaikuttanut kuivumiseen. Betonin valu, kohteen tiivistys ja lämmitys alkoi 1.1 ja seuranta lopetettiin 31.12.

5.1 Ympäristön lämpötila

Ympäristön lämpötilalla voidaan kuvan 21 mukaan vaikuttaa huomattavasti kuivumiseen. Tavoitekosteu- den ollessa 90 % vaihteluväli lämpötilan muutosten mukaan oli 29 päivästä 105 päivään, eli noin 3,6-kertainen suhde. Työmaalla on harvoin (pl. kesäkuukaudet) kuitenkaan 25–30 °C, koska se laskee työmiesten työtehokkuutta. Lämpötilan nosto 10 °C:sta 21 °C:een nopeuttaa kuivumista noin 1,6-kertaisesti.

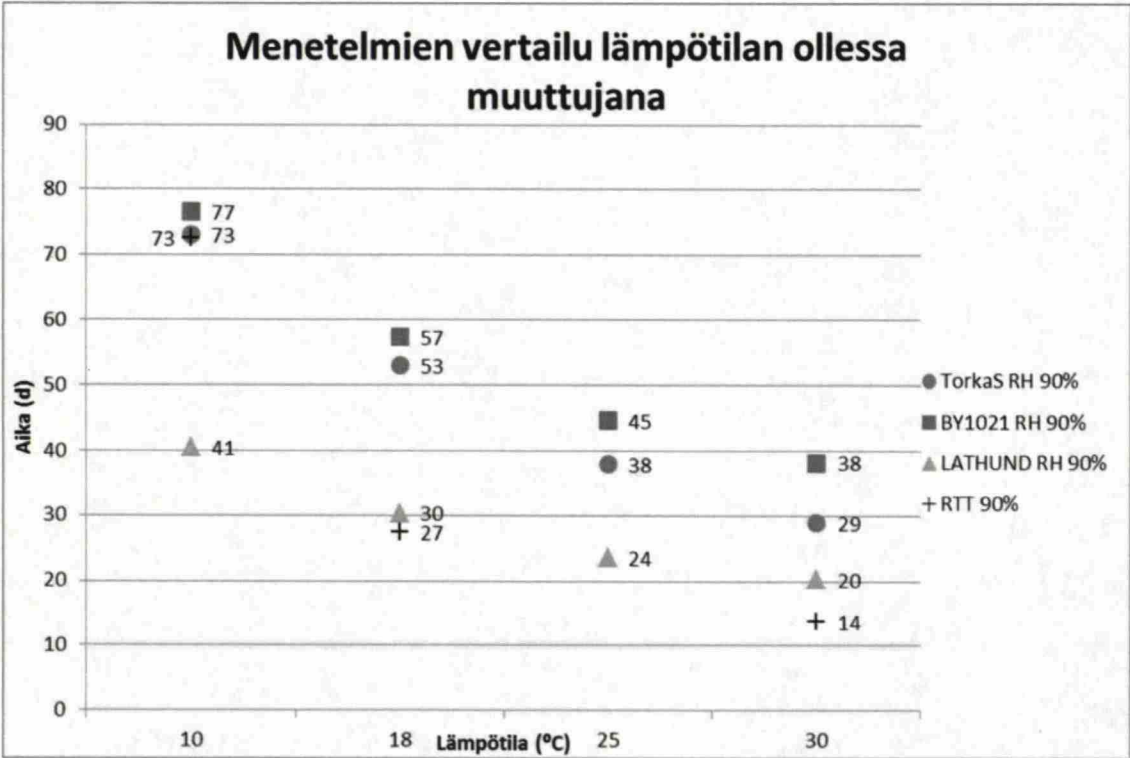
Lämpötilojen erot alkavat näkyä noin 89 % kohdalla. Alle 5 °C lämpötilassa ei päästä vuoden aikana 85 % suhteelliseen kosteuteen. Lämpötila on työmaaoloissa helposti kontrolloitavissa. Noin 100 euron lämpömittarilla voidaan helposti mitata ympäristön lämpötila.

Kuvaaja näyttää, että alkukosteus alhaisemmalla lämmöllä antaa alemman suhteellisen kosteuden alussa. Johanssonin (2012) tutkimuksen mukaan kovettumislämpötila vaikuttaa matalan vesi-sideainesuhteen betoneissa. Ensimmäisten viikkojen aikana matalan valu- ja säilytyslämpötilan betoni kuivui nopeammin kuin korkean valu- ja säilytyslämpötilan koekappaleilla. Johanssonin tutkimuksessa ei saatu syytä tähän poikkeamaan. Kokeen mittaustuloksiin vaikuttivat mittausmenetelmä ja mittauslaitteet (Johansson 2012, 45.)

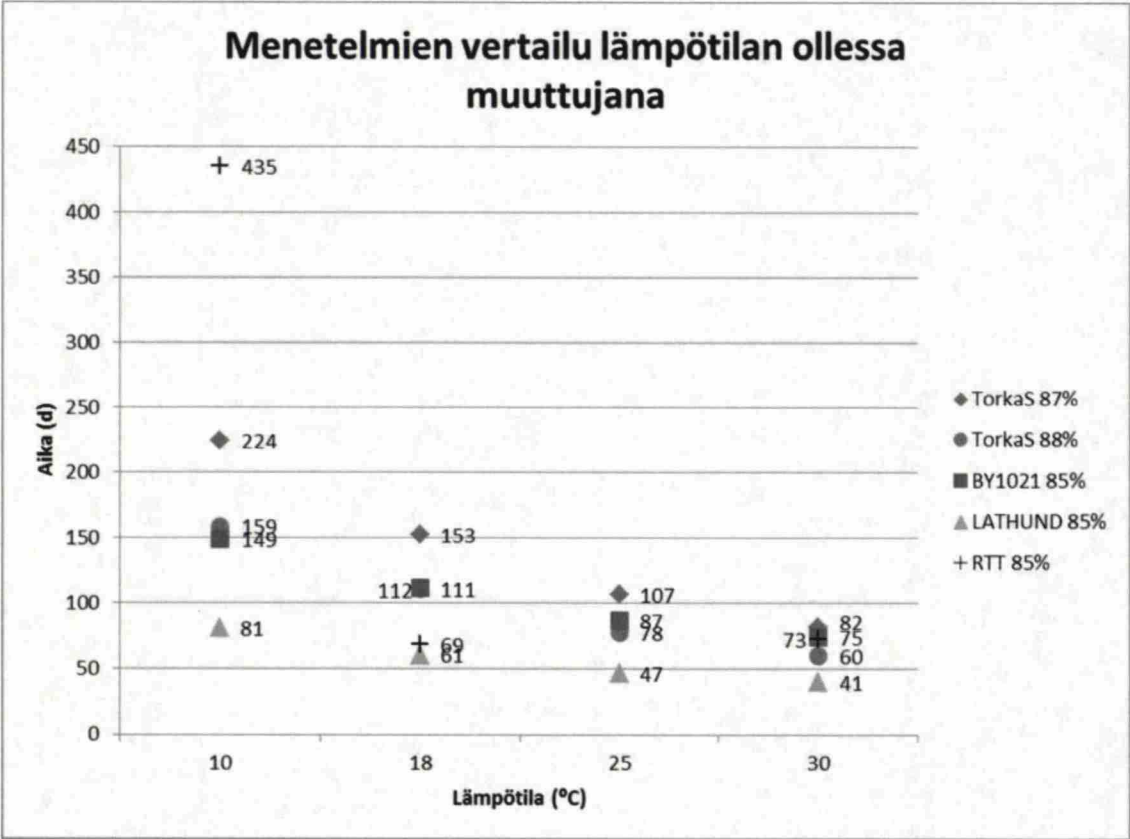


Kuva 21 Ympäristön lämpötilan vaikutus betonin kuivumiseen. Lämpötila on koko kuivumisajan vakio. Muuttujan arvot on laskettu Torkas-ohjelmalla.

Menetelmiä vertailtiin kuvaajien avulla. Näytti siltä, että 90 % suhteellisen kosteus oli BY 1021- ja Torkas-menetelmillä samoissa lukemissa (kuva 22). Lathund- ja RTT-menetelmät näyttivät poikkeavia tuloksia. Suhteellisen kosteuden ollessa 85 % toisiaan lähimpänä olivat BY1021 85 % ja Torkas 88 % (kuva 23).



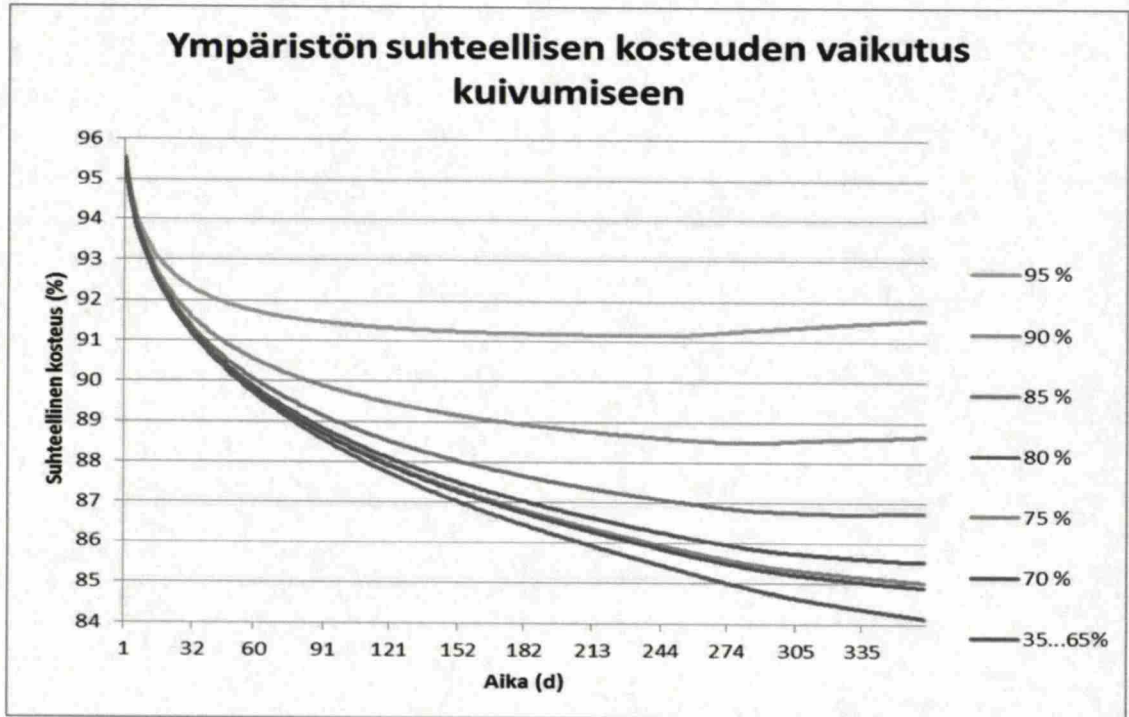
Kuva 22 Menetelmien vertailu lämpötilan ollessa muuttujana, tavoitekosteus 90 %.



Kuva 23 Menetelmien vertailu lämpötilan ollessa muuttujana, tavoitekosteus 85 %.

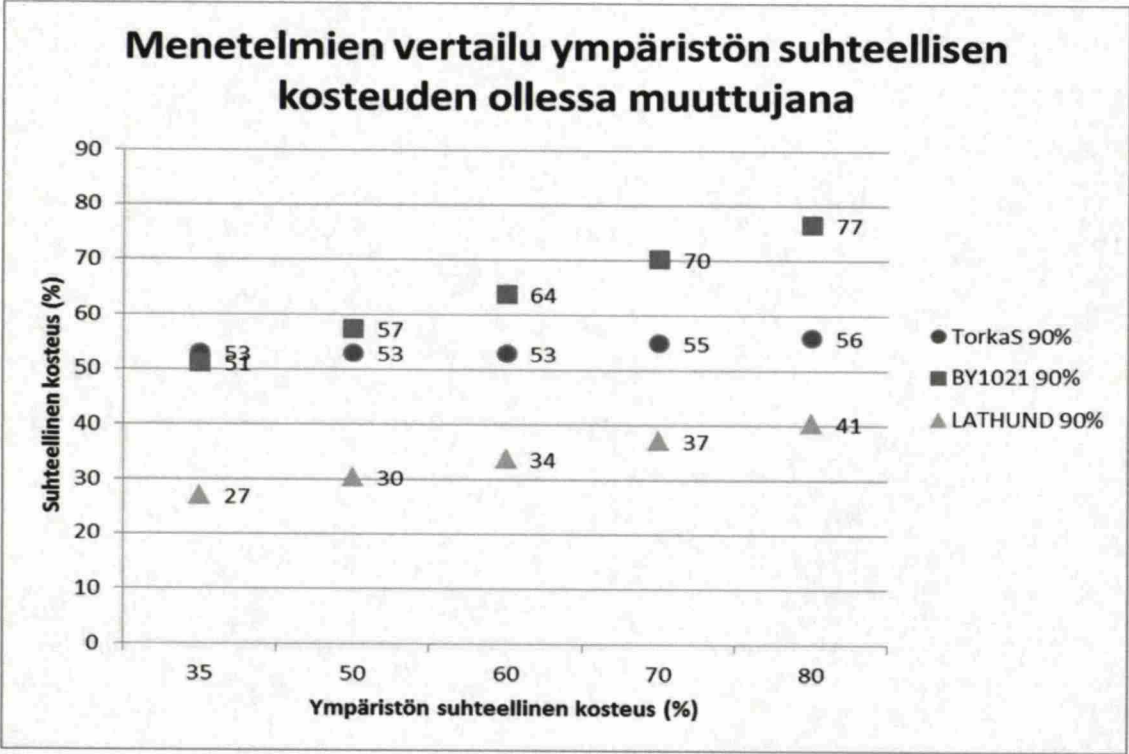
5.2 Ympäristön suhteellinen kosteus

Torkas-ohjelmassa suhteellisen kosteuden vaikutus välillä 35–65 % ei muuttanut kuivumisaikaa lainkaan. Suhteellisen kosteuden pitäisi muuttaa kuivumisaikaa, koska paine-ero kasvaa betonin suhteellisen kosteuden ja ympäristön suhteellisen kosteuden välillä. Ympäristön suhteellisen kosteuden ollessa 95 % betoni sitoutumiskuiuu. Huokoisena materiaalina betoni pyrkii tasapainoon ympäristön kanssa, jolloin käyrä nousee ylöspäin (kuva 24). Ympäristön suhteellisen kosteuden ollessa yli 75 % betoni ei kuivu vuodessa alle 85 % RH. Työmaalla ilman suhteellinen kosteus on noin 30–60 % välillä. Kesällä kuivuminen on hidasta ja betoni voi absorboida kosteutta ilmasta.

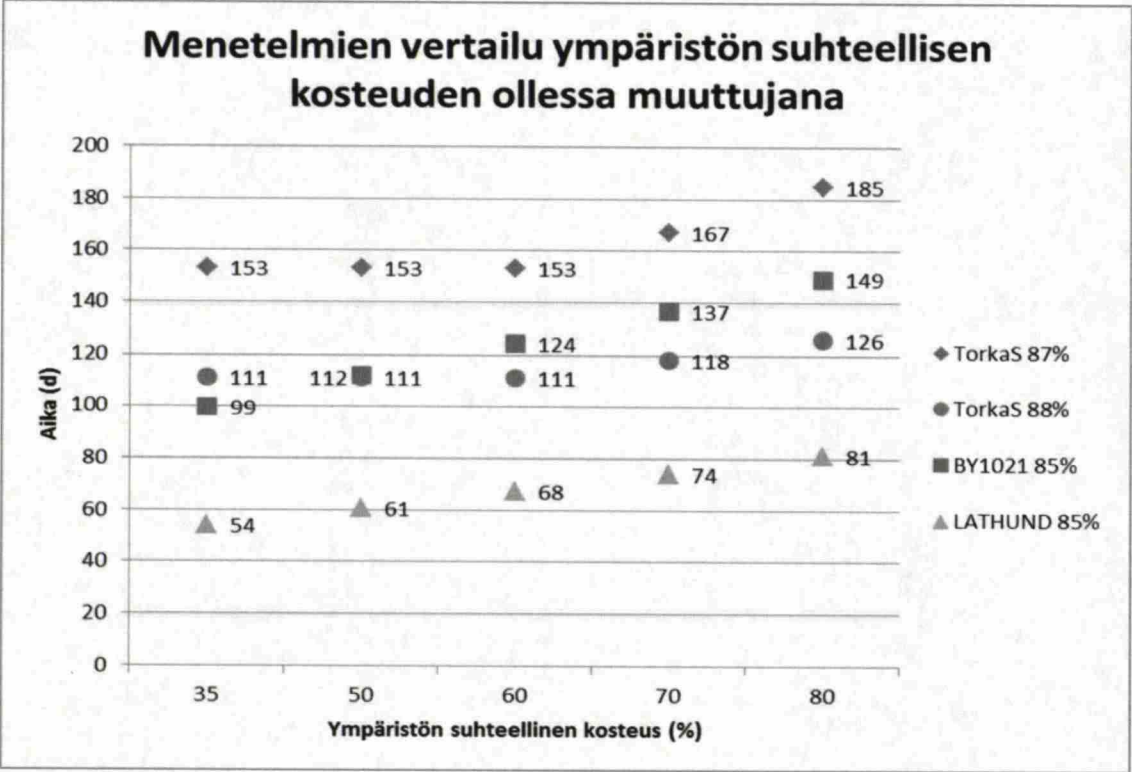


Kuva 24 Ympäristön suhteellisen kosteuden vaikutus kuivumiseen. Ympäristön suhteellinen kosteus on kokoajan vakio. Muuttujan arvot on laskettu Torkas-ohjelmalla.

Tavoitteellisen kosteuden ollessa 90 %, Torkas 90 % ja BY 1021 90 % näyttivät samaa tulosta ympäristön suhteellisella kosteudella 35 % ja 50 %. Ympäristön suhteellisen kosteuden ollessa yli 50 % menetelmät alkoivat poiketa toisistaan (kuva 25). Lathund-menetelmän tulokset poikkesi muista menetelmistä merkittävästi. BY 1021-menetelmän kuivumisarvot olivat noin kaksi kertaa suuremmat kuin Lathund-menetelmässä. Kuvas- ta 26 näemme menetelmien välisen yhteyden. BY 1021 85 % ja Torkas 88 % näyttävät lähes samoja tuloksia. Eroa on 15–23 päivää. BY 1021- ja Lathund-menetelmissä suhteellisen kosteuden nostaminen näyttäisi käyttäytyvän lineaarisesti.



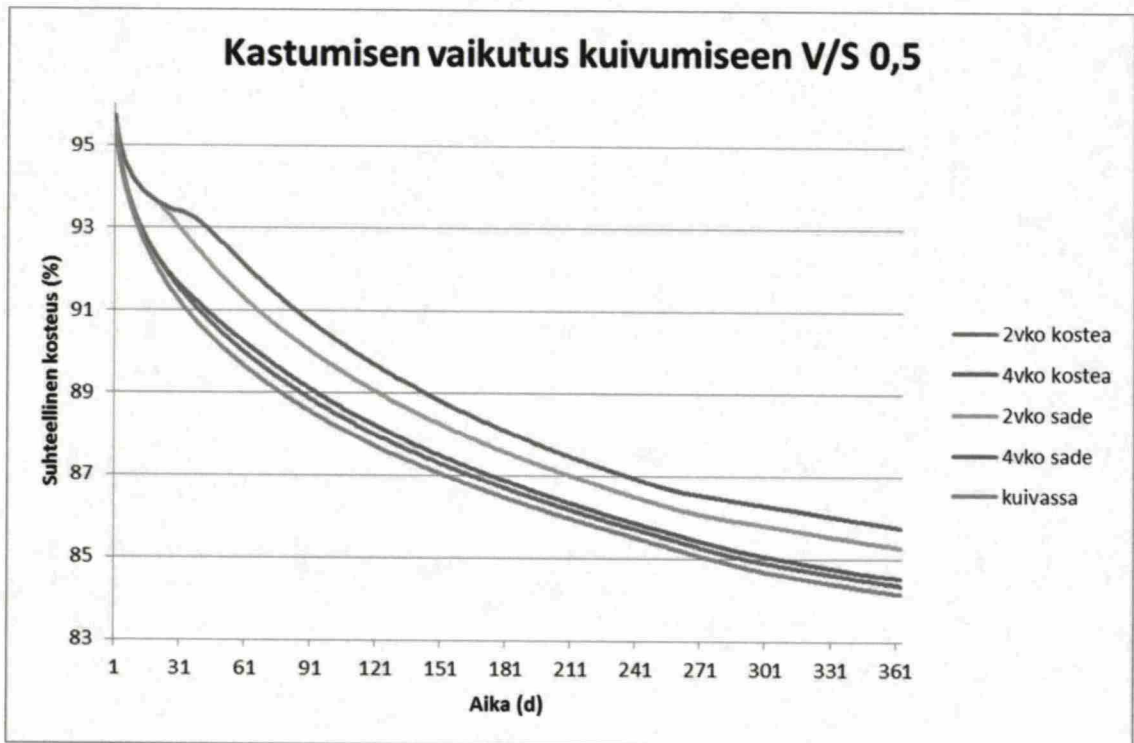
Kuva 25 Menetelmien vertailu ympäristön suhteellisen kosteuden ollessa muuttujana, tavoitekosteus 90 %.



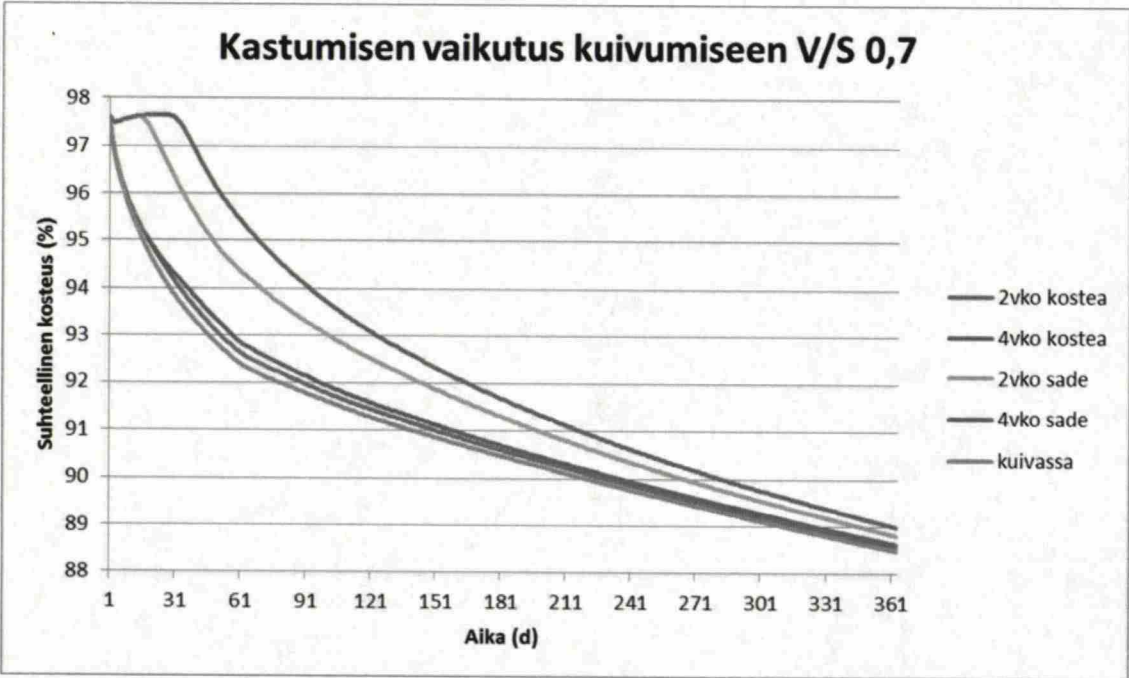
Kuva 26 Menetelmien vertailu ympäristön suhteellisen kosteuden ollessa muuttujana, tavoitekosteus 85 %.

5.3 Lisäkastuminen

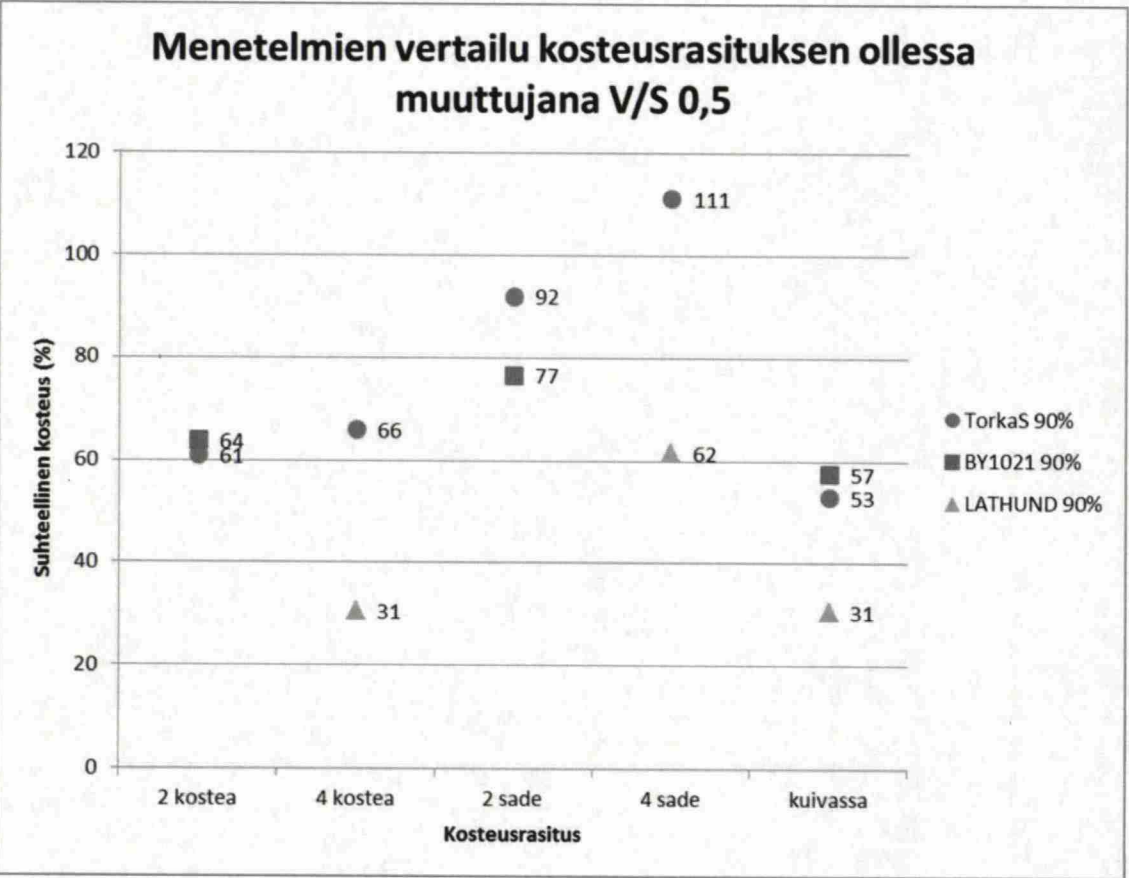
Lisäkastumista testattiin vesi-sideainesuhteella 0,5 (kuva 27) ja 0,7 (kuva 28). Kosteata ympäristöä mallinnettiin 18 °C lämpötilalla ja ympäristön suhteellinen kosteus oli 90 %. Sateen vaikutusta mallinnettiin 18 °C lämpötilalla ja ympäristön suhteellinen kosteus oli 100 %. Kosteusrasitus asetettiin heti valun jälkeen ja se kesti 2–4 viikkoa. Kosteassa ympäristössä 2–4 viikkoa ei vaikuttanut kuivumiseen juurikaan. Vastaavasti sateessa 2–4 viikkoa vaikutti suuresti kuivumiseen. Mitä suurempi vesi-sideainesuhde, sitä enemmän kosteusrasitus näkyy kuvaajassa. Powers et al. (1959) on tutkinut vesi-sementtisuhteen vaikutusta kapillaariverkoston sulkeutumiseen. Kapillaariverkoston sulkeutuminen on esitetty taulukossa 2. Vesi-sideainesuhteen ollessa 0,7 huomiona on, että käyrien lopussa ero oli vain noin 60 päivää. Vesi-sideainesuhteella 0,7 kapillaariverkosto ei sulkeudu, joten kuivuessa se siirtää kosteutta tehokkaasti rakenteen haihtuvalle pinnalle (kuva 28).



Kuva 27 Kastumisen vaikutus betonin kuivumiseen vesi-sideainesuhteen ollessa 0,5. Muuttujan arvot on laskettu Torkas-ohjelmalla.



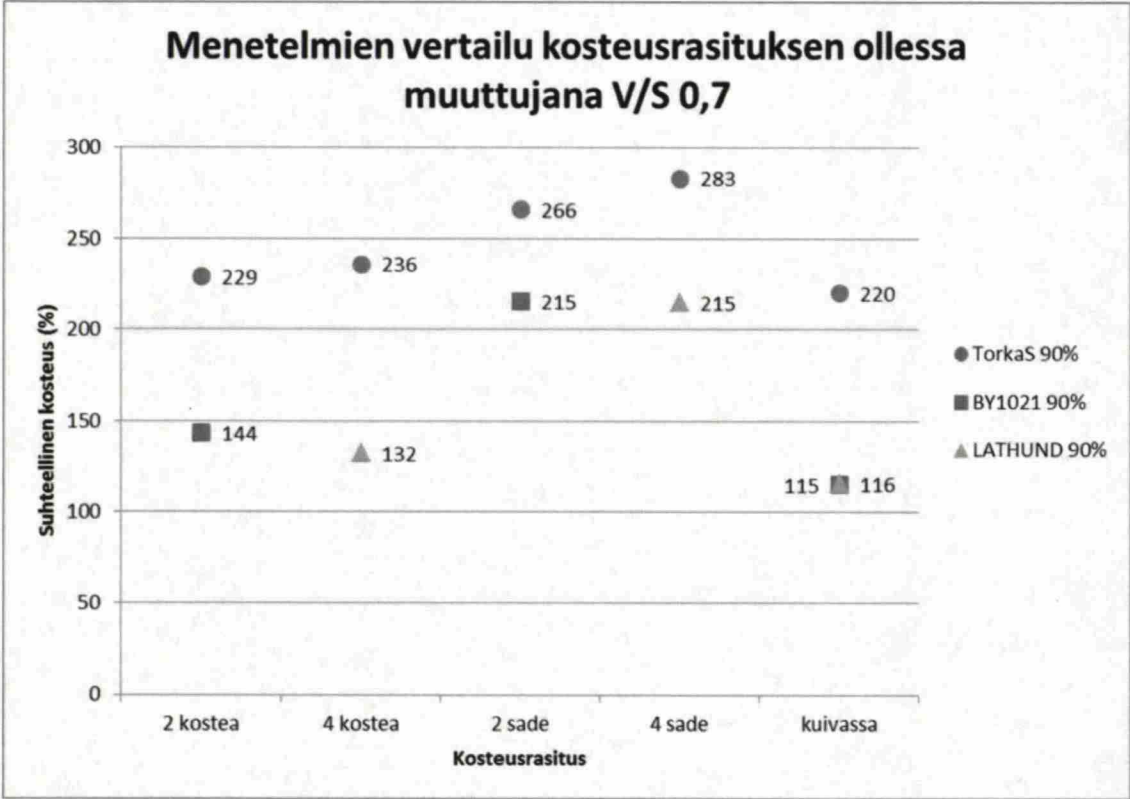
Kuva 28 Kastumisen vaikutus betonin kuivumiseen vesi-sideainesuhteen ollessa 0,7. Muuttujan arvot on laskettu Torkas-ohjelmalla.



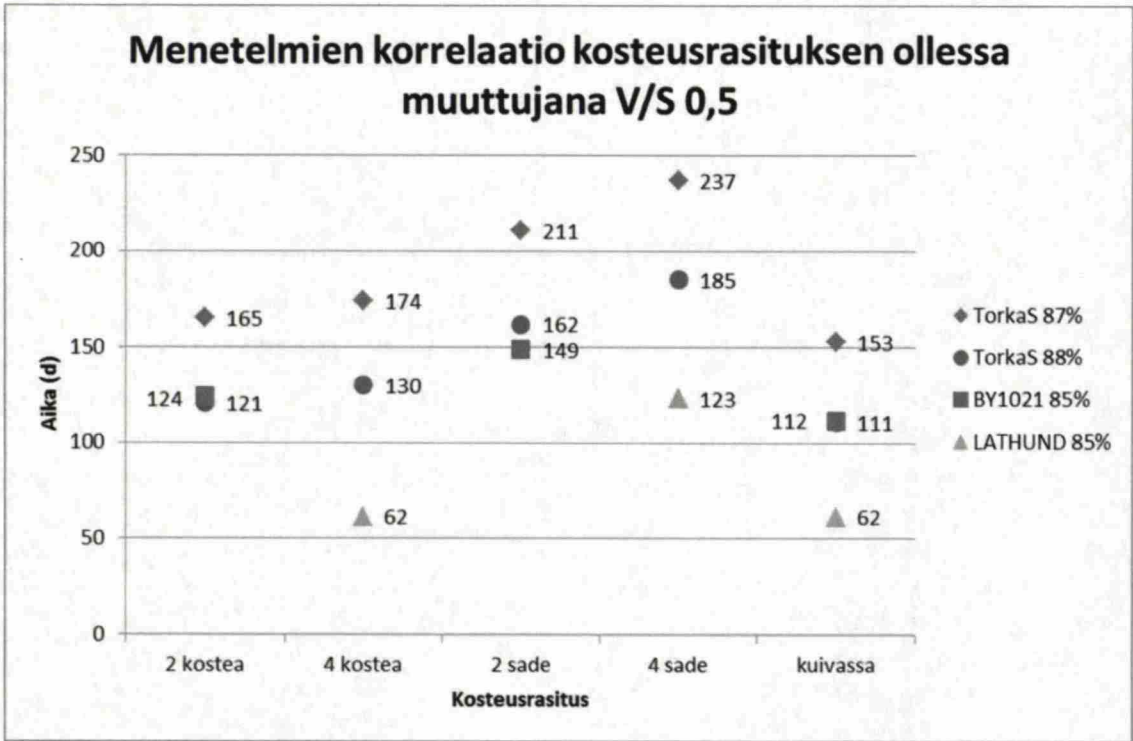
Kuva 29 Menetelmien vertailu kosteusrasituksen ollessa muuttujana, vesi-sideainesuhde 0,5; tavoitekosteus 90 %.

BY 1021-menetelmässä kosteusrasitusvaihtoehtoina olosuhteet olivat kuiva, kaksi viikkoa kosteassa ja kaksi viikkoa sateessa. Lathund-menetelmässä vastaavat olosuhteet olivat kuivassa, neljä viikkoa kosteassa ja neljä viikkoa sateessa. Tavoitekosteuden ollessa 90 % ja vesi-sideainesuhteen ollessa 0,5 Lathund-menetelmä poikkesi Torkas-ohjelman tuloksista (kuva 29). Torkas- ja BY 1021-menetelmän erona oli 4–15 päivää. Tavoitekosteuden ollessa 85 % lähinnä toisiaan näyttivät BY 1021 85 % ja Torkas 88 % (kuva 31).

Vesi-sideainesuhteella 0,7 erot olivat huomattavat (kuva 30). Torkas-ohjelma näytti 90 % tavoitekosteudella kaikkien tapausten arvioksi yli 220 päivää. BY 1021-menetelmällä kuivassa oli 115 päivää, kaksi viikkoa kosteassa 144 päivää ja sateessa 215 päivää. Torkas-ohjelmalla ei päästy vuodessa alle 88,5 %, joten vertailevia tuloksia ei ollut tavoitekosteudesta 85 %.



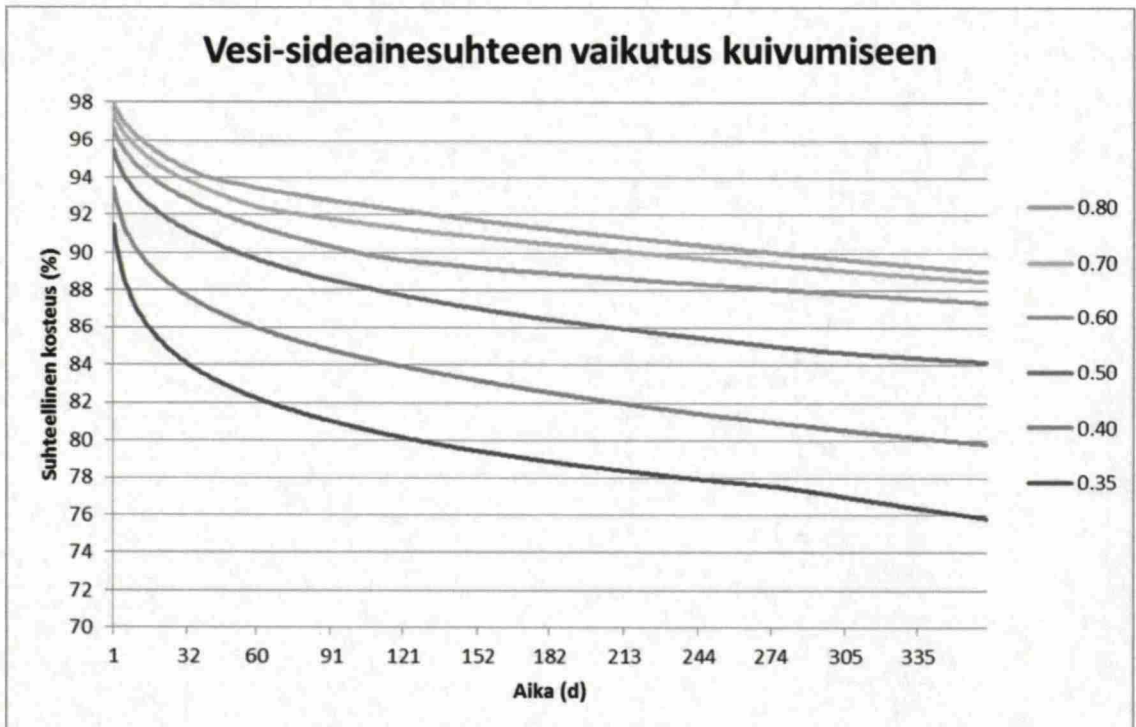
Kuva 30 Menetelmien vertailu kosteusrasituksen ollessa muuttujana, vesi-sideainesuhde 0,7; tavoitekosteus 90 %.



Kuva 31 Menetelmien vertailu kosteusrasituksen ollessa muuttujana, vesi-sideainesuhde 0,5; tavoitekosteus 85 %.

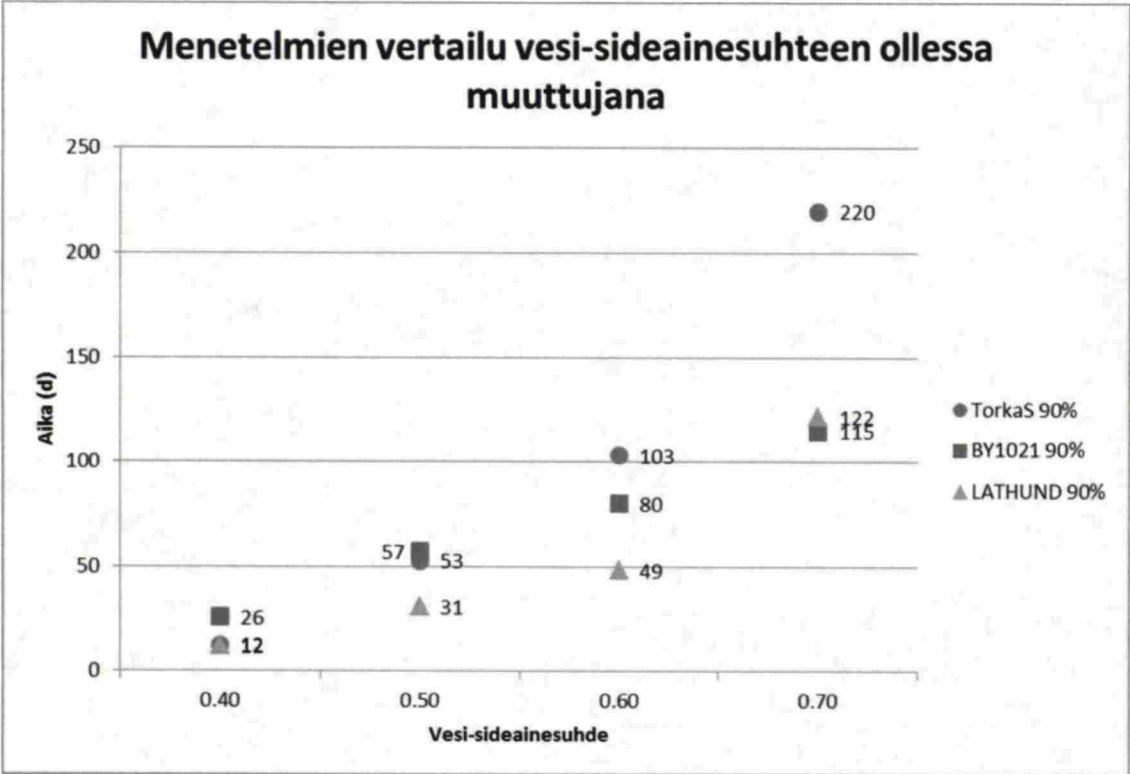
5.4 Vesi-sideainesuhde

Kuvasta 32 ilmenee vesi-sideainesuhteen vaikutuksen betonin kuivumiseen. Vesi-sideainesuhde on yksi merkittävimmistä kuivumiseen vaikuttavista tekijöistä. Vesi-sideainesuhteella 0,4; betoni kuivuu (sitoutumiskuivuu) 90 % suhteelliseen kosteuteen 12 päivässä. Vesi-sideainesuhteella 0,8 samaan näyttäisi menevän 277 päivää. Alhaisella vesi-sideainesuhteella alkukuivuminen tapahtuu pääosin sitoutumiskuivumisena. NP-betoneissa on alhainen vesi-sideainesuhde ja suuri huokosmäärä, minkä takia ne voidaan pinnoittaa huomattavasti aikaisemmin kuin tavallinen lattiabetoni.

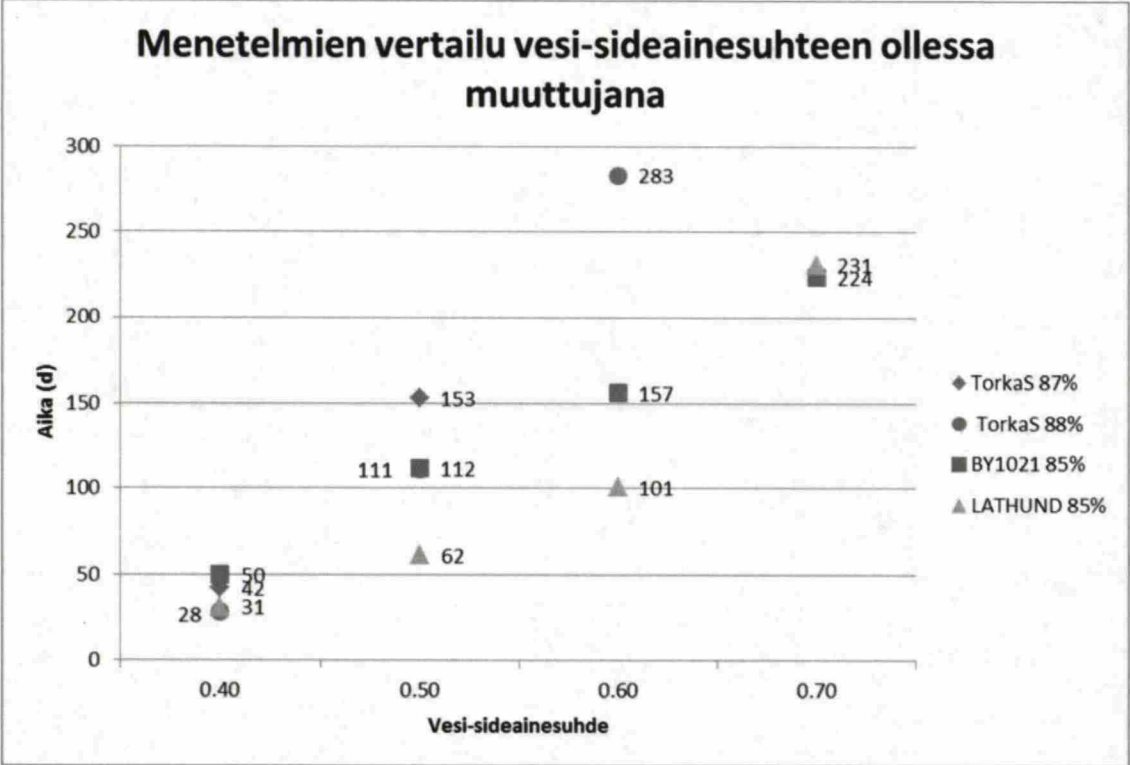


Kuva 32 Vesi-sideainesuhteen vaikutus betonin kuivumiseen. Muuttujan arvot on laskettu Torkas-ohjelmalla.

Torkas 90 % ja BY 1021 90 % näyttävät samaa tulosta vesi-sideainesuhteen ollessa 0,4–0,6; mutta arvolla 0,7 eroa tuli yli 100 päivää. Torkas 88 % ja BY 1021 85 % vastaavat toisiaan arvolla 0,4. Vesi-sideainesuhteella 0,4 eroa oli 22 päivää, kun tavoitekosteus saavutettiin Torkas-ohjelmalla 28 päivässä. Torkas 87 % aika-arviot menivät yli vuoden vesi-sementtisuhteella 0,6 ja 0,7. Vesi-sideainesuhde näyttäisi olevan ongelmallinen muuttuja, koska eri menetelmät näyttävät huomattavia eroja.



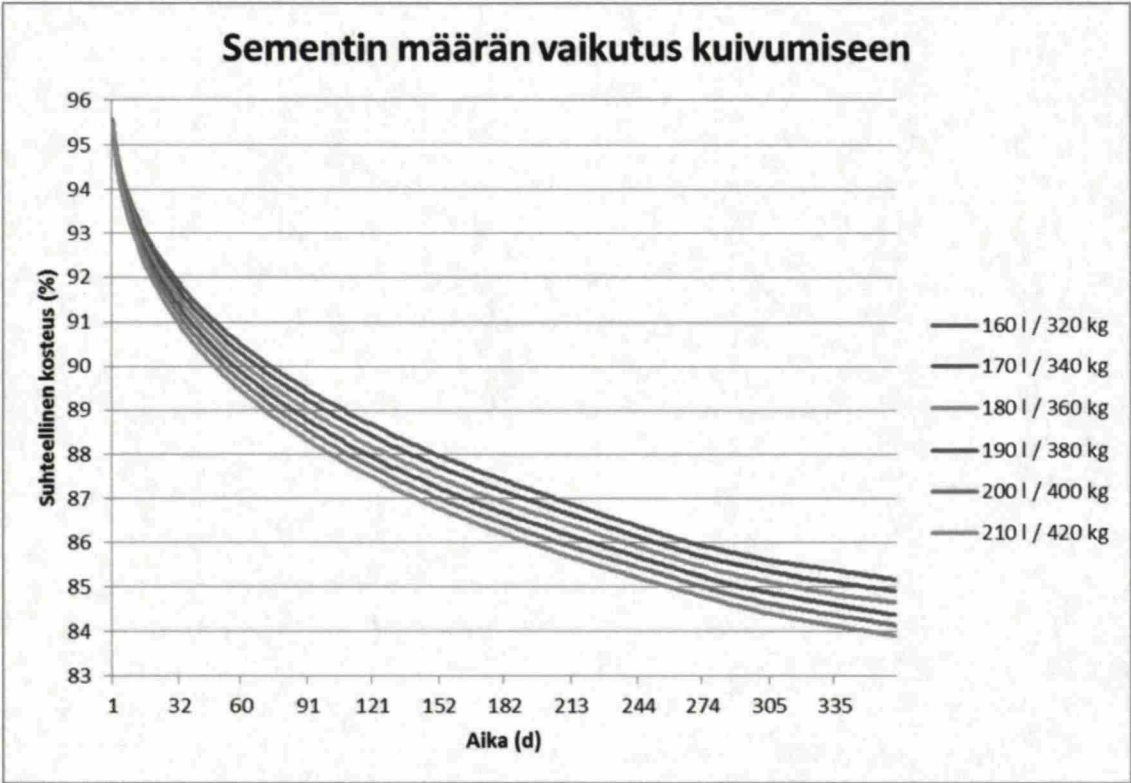
Kuva 33 Menetelmien vertailu vesi-sideainesuhteen ollessa muuttujana, tavoitekosteus 90 %.



Kuva 34 Menetelmien vertailu vesi-sideainesuhteen ollessa muuttujana, tavoitekosteus 85 %.

5.5 Sementin määrä

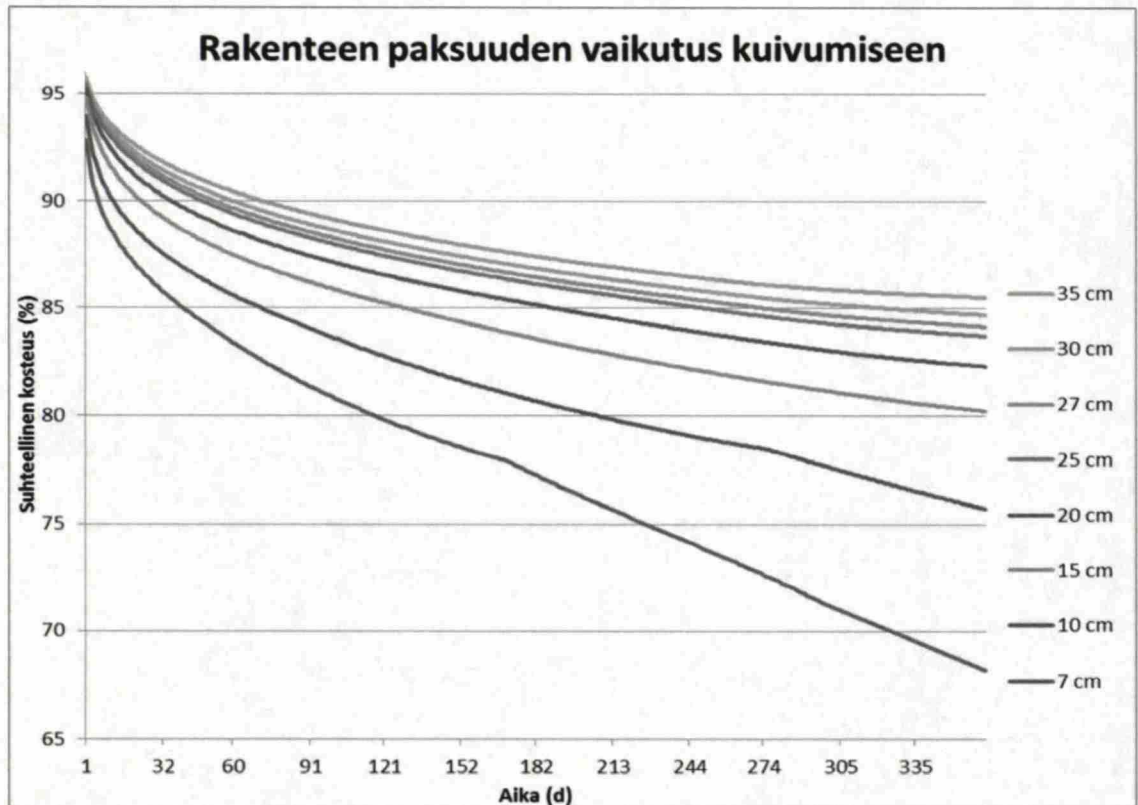
Torkas-ohjelmalla oli mahdollista testata sementin määrän vaikutusta kuivumiseen. Sementin määrää nostaessa veden määrä kasvaa. Lujuusluokkaa voidaan nostaa sementin määrää kasvattamalla. Suuremman lujuusluokan betoneissa haihdutettavan rakennekosteuden määrä vähenee, mutta betonin mikrorakenne on tiiviimpää ja kosteuden siirtymisen hidastuu. Suurempi sideainemäärä nopeutti kuivumista, koska sementtikiven osuus oli suurempi. Vesi haihtuu pääasiassa sementtikiven kautta. Suurempi vesimäärä nostaa myös karkeampien runkorakenteiden ympärillä olevaa faasirajaa paksummaksi, mikä kuivattaa betonia nopeammin. Kuvan 35 mukaan näyttäisi siltä, että kuivumisaikaa voidaan nopeuttaa maksimissaan 30–40 % sementin määrää kasvattamalla. Sementin määrän muutosta ei ollut mahdollista testata muilla menetelmillä.



Kuva 35 Sementin määrän vaikutus betonin kuivumiseen. Muuttujan arvot on laskettu Torkas-ohjelmalla.

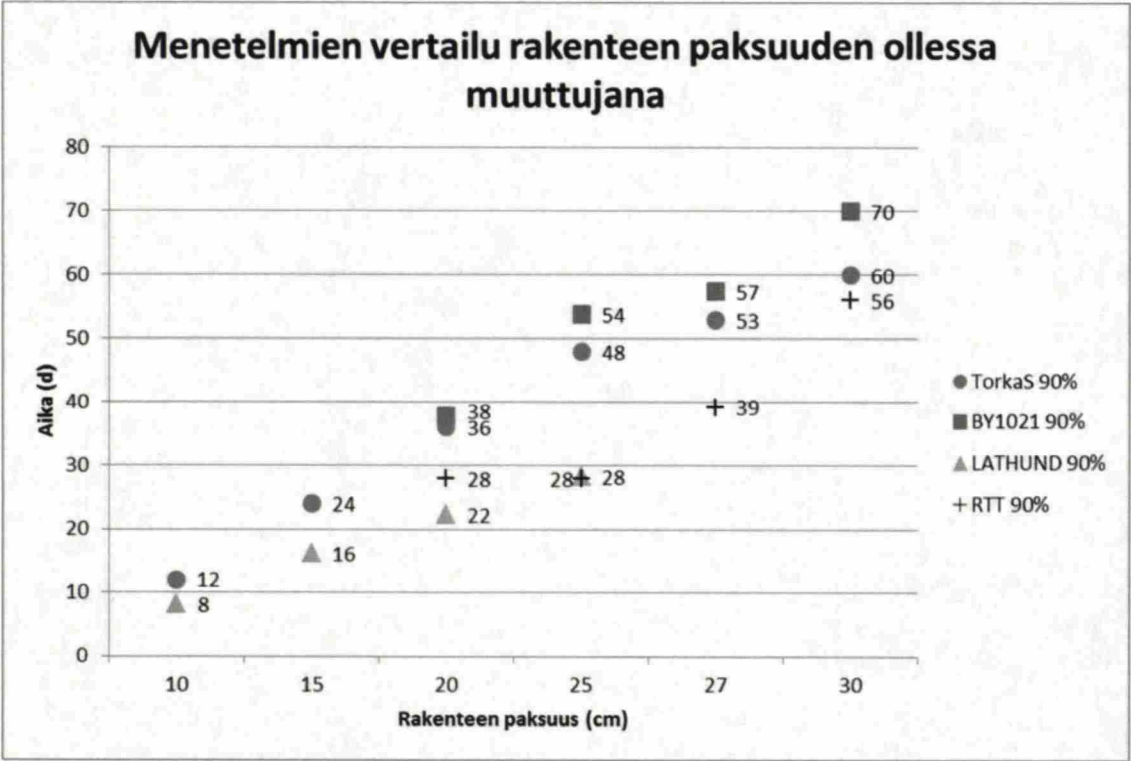
5.6 Rakenteen paksuus

Rakenteen paksuus vaikuttaa kuivumiseen yhtäläisesti rakenneratkaisun kanssa. Rakenteen sisällä siirtyvän kosteuden matkan kasvaessa kuivuminen pitkittyy. Kuivumisaika kasvaa toisessa potenssissa rakennepaksuuteen nähden, eli rakennepaksuuden kaksinkertaistuessa kuivumisaika nelinkertaistuu (RTT 1995, 10). Rakenteen paksuus tulisi suunnitella niin, että se olisi mahdollisimman ohut lujuuslaskelmien antaessa myöden. Reunavahvistetuissa maanvaraisissa lattioissa reuna-alueet voivat olla helposti yli puoli metriä paksuja. Kuvan 36 käyrillä 7 cm ja 10 cm tapahtuu notkahdus suhteellisen kosteuden ollessa noin 77 %. Mittaus oli tehty 20 % syvyydellä, eli 7 cm laatalle se oli 1,4 cm syvyydellä (kuva 36). Yksi selitys voisi olla, että mittaussyvyys oli niin pinnalla, että rakenne pyrki ympäristön kanssa tasapainotilaan nopeammin, kuin kosteutta siirtyi rakenteen sisältä pinnalle.

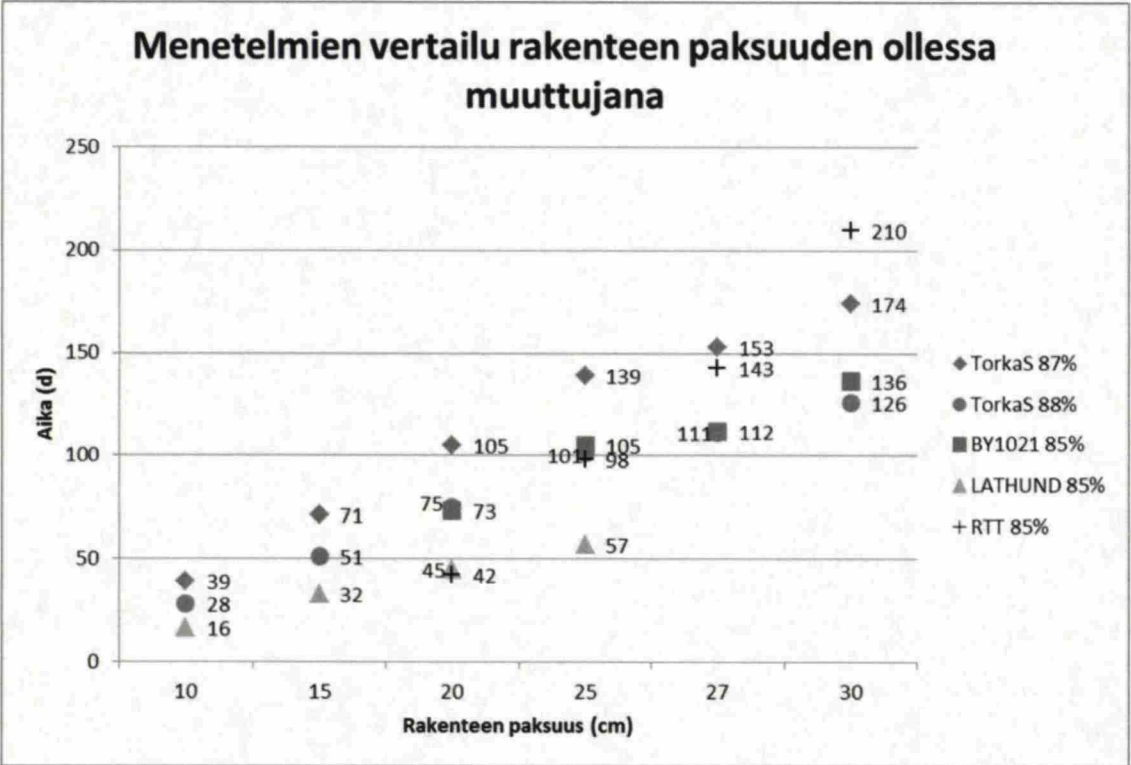


Kuva 36 Rakenteen paksuuden vaikutus kuivumiseen. Muuttujan arvot on laskettu Torkas-ohjelmalla.

BY 1021 85 % ja Torkas 88 % vastasivat toisiaan, erojen ollessa vain 1-10 päivää (kuva 38). Tavoitekosteudessa 90 % eroa oli 2-10 päivää (kuva 37). Lathund-menetelmässä ei päästy yli 25 cm paksuuden. RTT-menetelmä näyttää 30 cm paksuudella 65 % pidempää kuivumisaikaa verrattuna Torkas 88 % ja BY 1021 85 %.



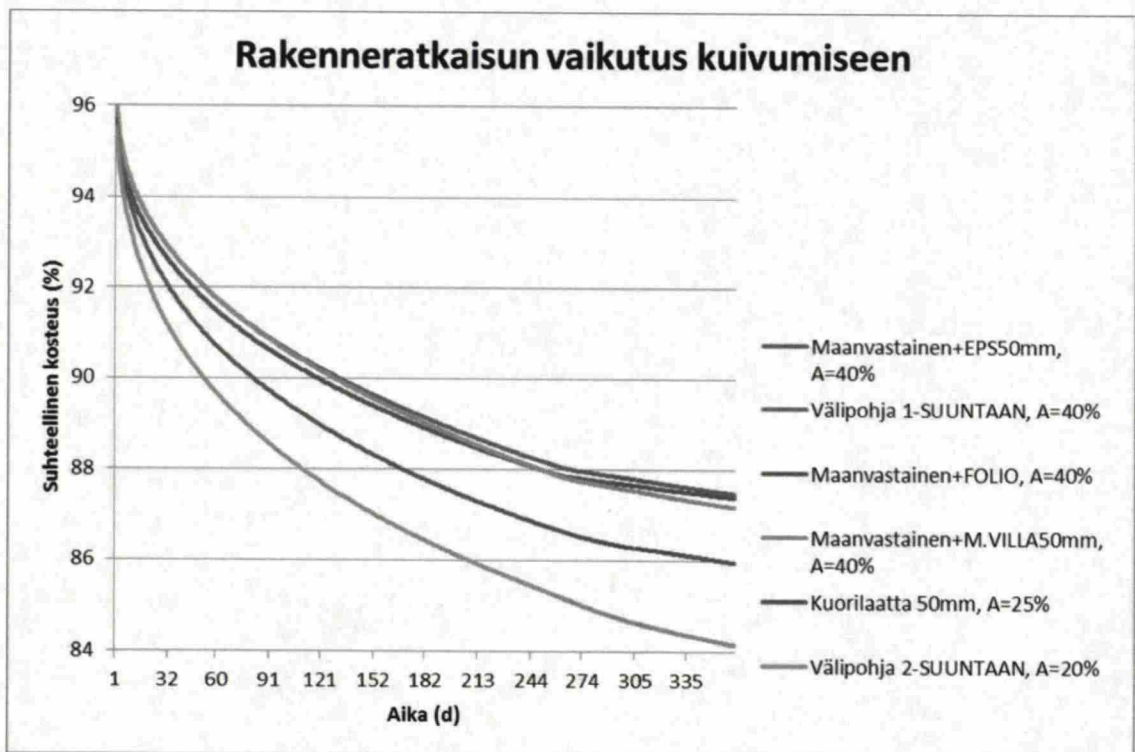
Kuva 37 Menetelmien vertailu rakenteen paksuuden ollessa muuttujana, tavoite kosteus 90 %.



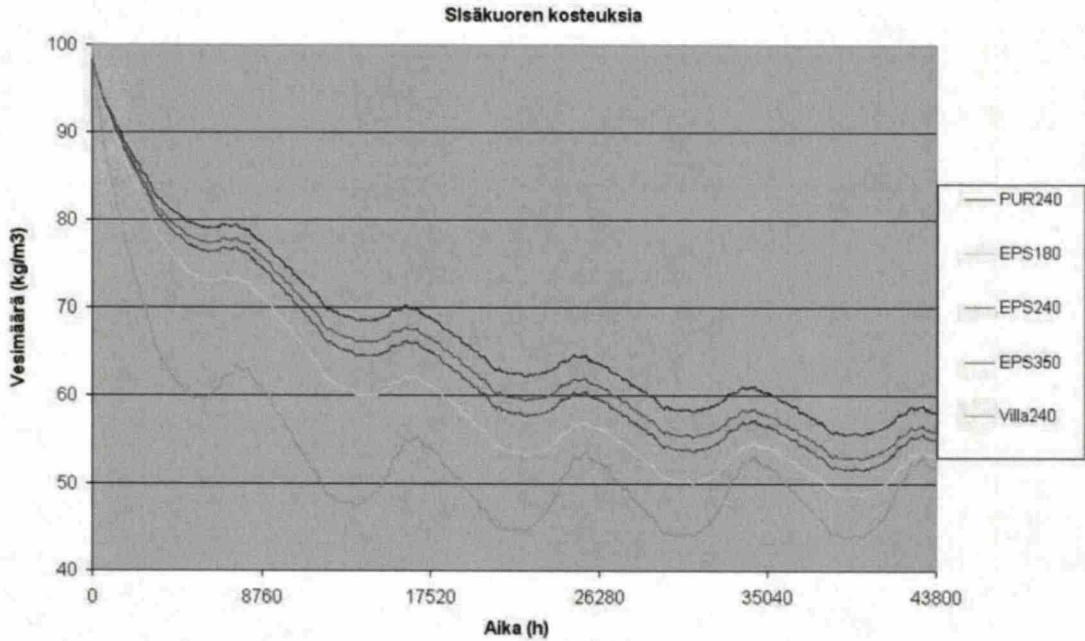
Kuva 38 Menetelmien vertailu rakenteen paksuuden ollessa muuttujana, tavoitekosteus 85 %.

5.7 Rakenneratkaisu

Rakenneratkaisu vaikuttaa oleellisesti kuivumiseen (kuva 39). Yhteen suuntaan kuivuvan laatan sisäisen kosteuden kulkema matka kasvaa laatan paksuuntuessa, sekä rakenneratkaisun mukaan. Rakenneratkaisuun ei voi työmaalla juurikaan vaikuttaa. Rakenneratkaisu tulee ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Yhteen suuntaan kuivuvien ratkaisujen välillä tulisi olla suurempi ero kuin kuva 39 näyttää. Kyseiset yhteen suuntaan kuivuvat rakenneratkaisut ovat maanvaraisia lattioita. EPS-eristeen ja mineraalivillan välillä on suurempi ero kuin kuvaaja näyttää. Maanvarainen lattia kuivuu alaspäin, jos betoni on lämpimämpää kuin alapuolinen maa-aines. Ormiskangas (2009) on tutkinut eristeiden vaikutusta ulkoseinän kuivumiseen. Kuvan 40 mukaan mineraalivillainen ulkoseinä kuivuu huomattavasti nopeammin kuin EPS- tai PUR-eristeellä eristetty ulkoseinä. Kosteuserot tasoittuvat ajan myötä. Eristeiden vesihöyrynvastus vaikuttaa kuivumiseen.



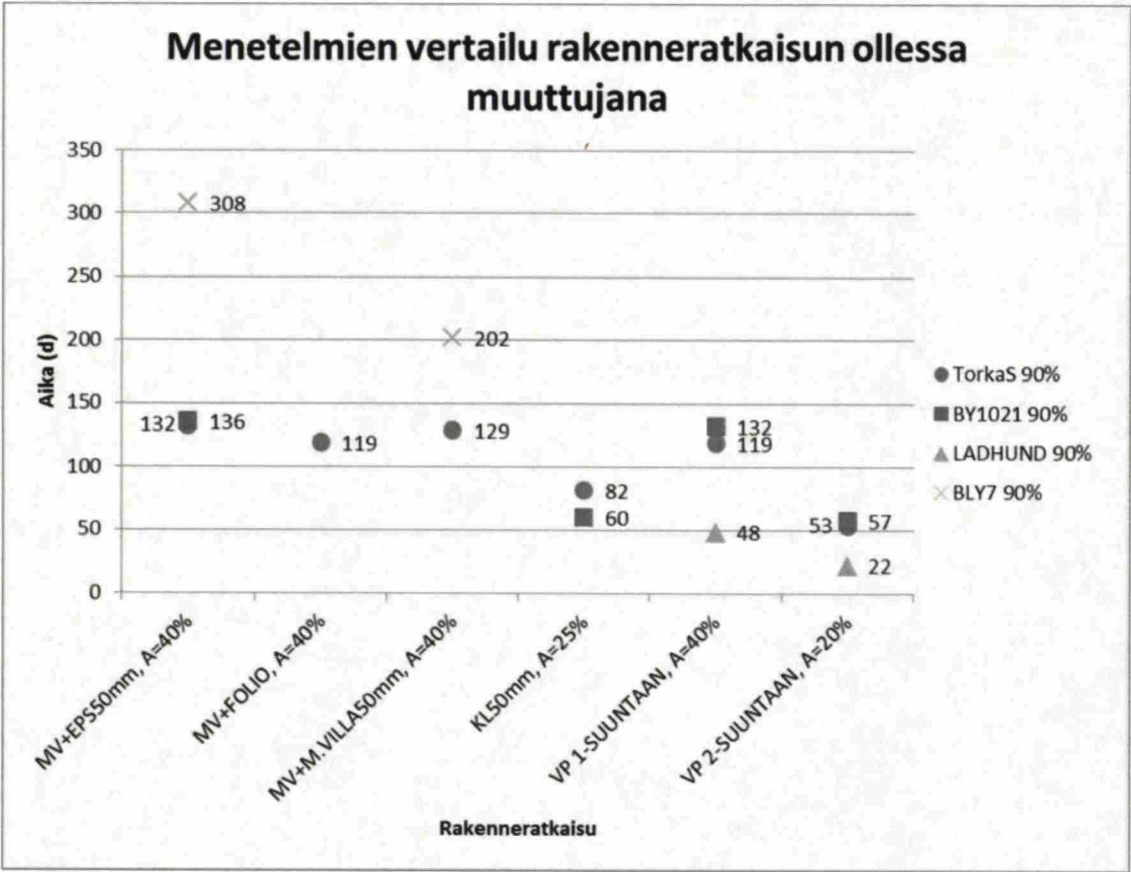
Kuva 39 Rakenneratkaisun vaikutus kuivumiseen. A on mittaussyvyys. Maanvastainen+folio kuivuu ohjelman mukaan täysin samalla tavalla kuin välipohja yhteen suuntaan. Muuttujan arvot on laskettu Torkas-ohjelmalla.



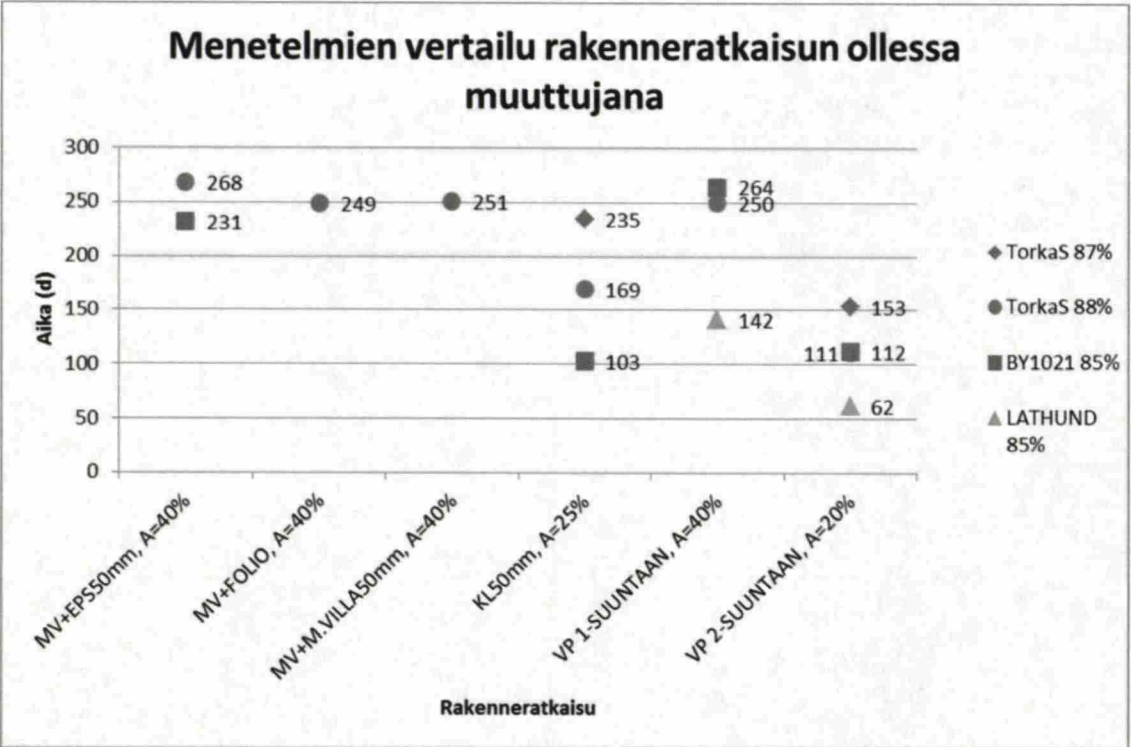
Kuva 40 Lämmöneristeen vaikutus kuivumiseen. Vaaka-akseli kuvaa vuosia ja pysty-akseli siirtyvää kosteusmäärää kg/m^3 , ei suhteellista kosteutta. (Ormiskangas 2009, 112).

Tavoitekosteudella 90 % BY 1021- ja Torkas-menetelmien välinen ero oli 4–22 päivää. Suurin ero oli kuorilaatta ratkaisussa. Kuorilaatassa kuoren osuudeksi oli Torkas-ohjelmassa asetettu 50 mm ja mittausvyöydeksi 25 % pintabetonin paksuudesta. BY 1021-menetelmässä kuorilaatan osuutta ei ilmoitettu, ja mittausvyöyys oli 20 % rakenteen paksuudesta.

BLY 7-menetelmä maanvastaisissa rakenteissa poikkesi noin 80–170 päivällä verrattuna muihin menetelmiin. BLY 7-menetelmä voidaan katsoa täysin poikkeavaksi. Tavoitekosteudella 85 % yhteen suuntaan, kahteen suuntaan ja maanvastainen rakenne näyttivät Torkas 88 % ja BY 1021 85 % hyvää vastaavuutta. Kuorilaatta rakenteessa Torkas 88 % antoi jopa 64 % suuremman keston kuin BY 1021 85 %.



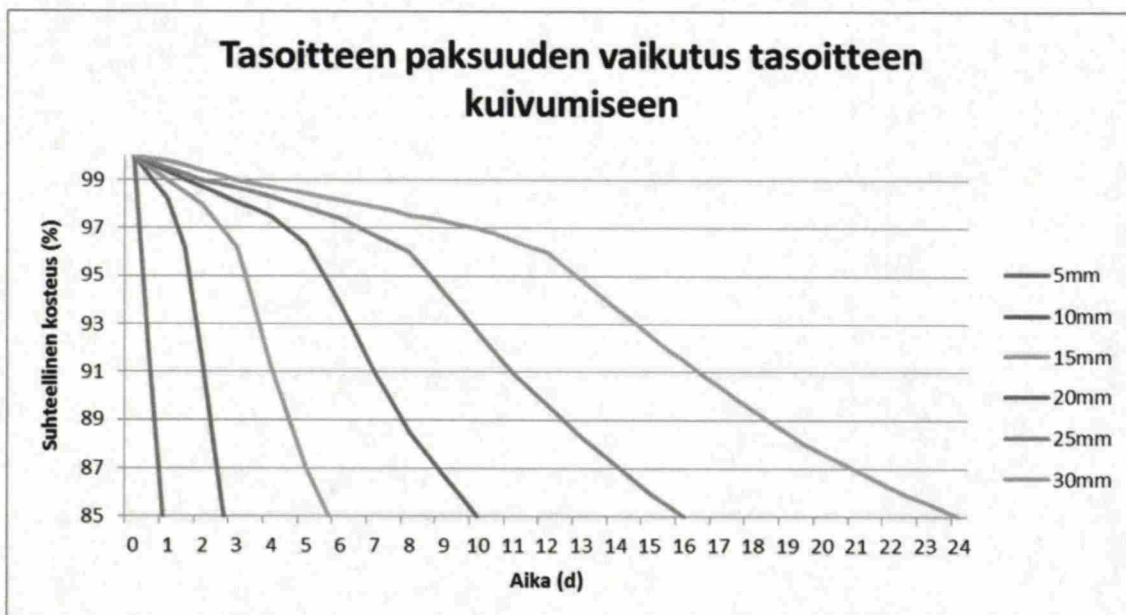
Kuva 41 Menetelmien vertailu rakenneratkaisun ollessa muuttujana, tavoitekosteus 90 %.



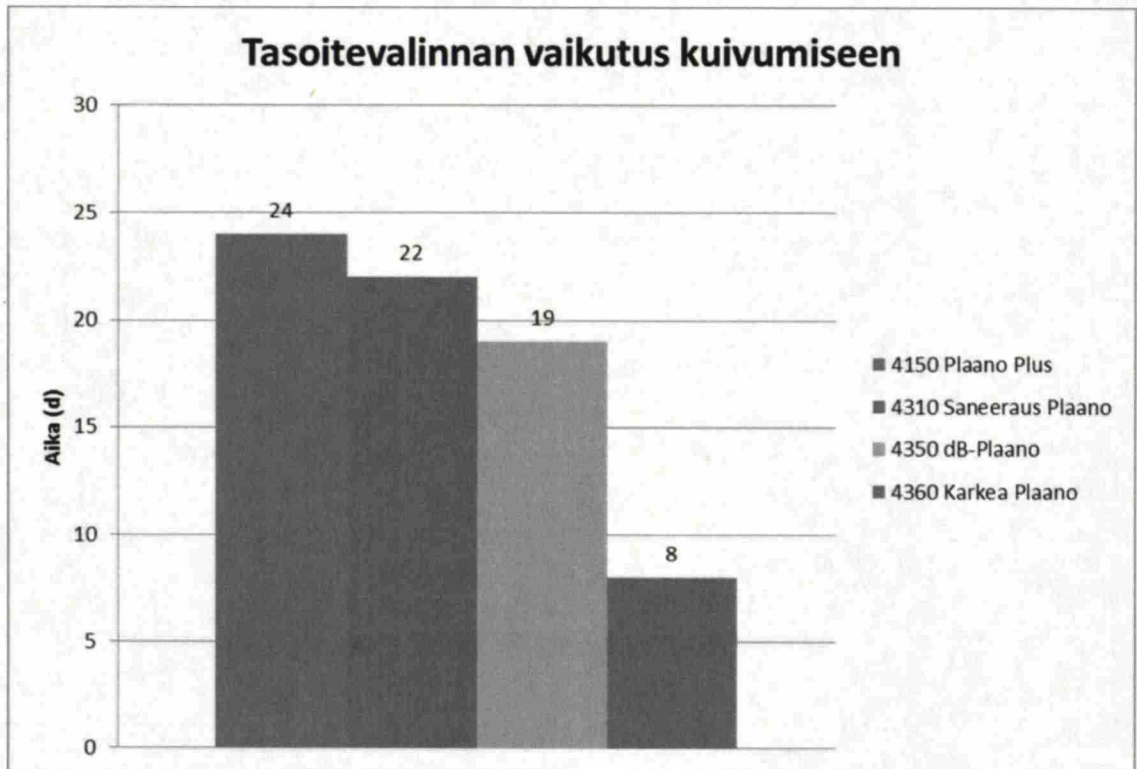
Kuva 42 Menetelmien vertailu rakenneratkaisun ollessa muuttujana, tavoitekosteus 85 %.

5.8 Tasoitteen kuivuminen

Lattiapintojen tasoitteena käytettiin Vetonit 4150 Plus Plaanoa. Plaanon paksuus vaihteli asunnoissa 15–30 mm ja käytävässä noin 5–10 mm. Tasoitetta levitettiin noin 22 kg/m². Vetonit 4150 Plus plaanon sopiva vesimäärä on 21 % laastin kuivapainosta. (Vetonit 4150). Ylimääräistä kosteutta tasoitteesta tuli noin 4,5 kg/m². Alustan suhteellisen kosteuden tulee olla < 95 %. Alustan suhteellisen kosteuden raja-arvo oli saavutettu jo elementtien sitoutumiskuivumisessa. Betonialusta voi absorboida tasoitteesta kosteutta. Kuva 43 näyttää tasoitteen paksuuden vaikutuksen tasoitteen kuivumiseen. Kuvaaja on laskettu Saint-Gobain Weber Oy Ab MoistureCalc ohjelmalla. Suhteellinen kosteuden mittaussyvyys on 0,4 * tasoitteen paksuus. Tasoite kuivuu yhteen suuntaan. Kuivumisolosuhteet olivat vakiona 18 °C ja suhteellinen kosteus on 50 %. Tasoitteena oli käytetty Vetonit 4150 Plus Plaanoa.



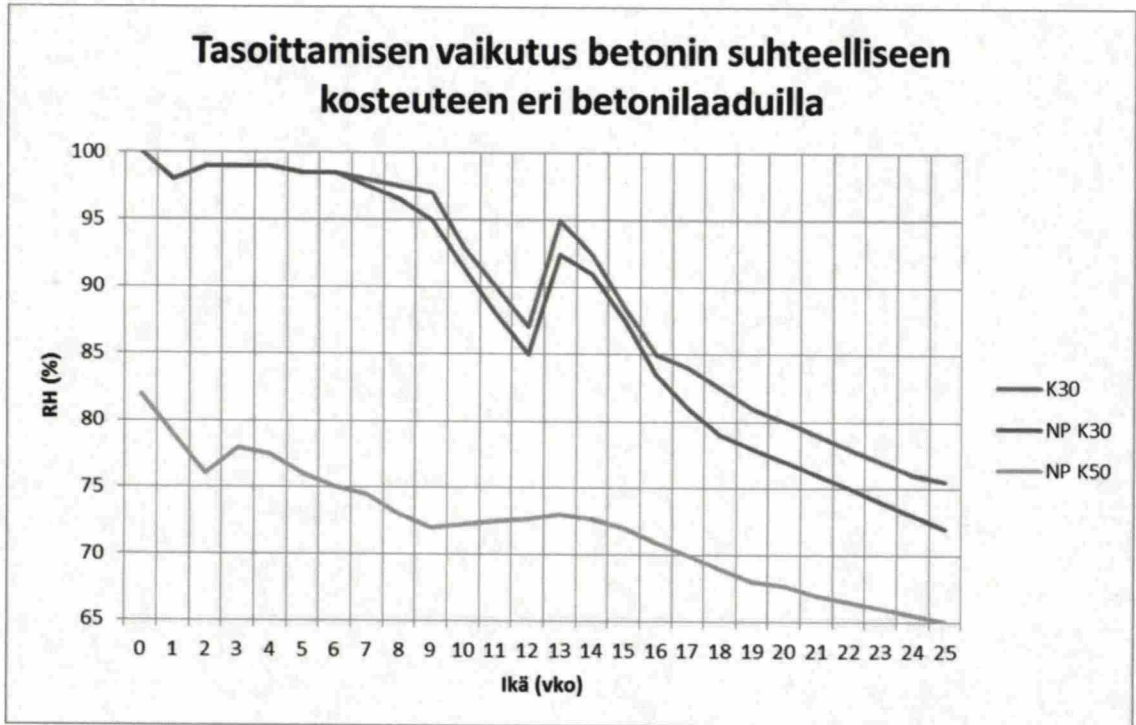
Kuva 43 Tasoitteen paksuuden vaikutus tasoitteen kuivumiseen. Mittaussyvyys on 0,4 * tasoitteen paksuus, tasoite kuivuu vain yhteen suuntaan. Ympäristön lämpötila 18 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Muuttujan arvot on laskettu MoistureCalc-ohjelmalla.



Kuva 44 Tasoitevalinnan vaikutus kuivumiseen. Tasoitekerroksen paksuus on 30mm, ympäristön lämpötila 18 °C ja suhteellinen kosteus 50 %, tasoitteen haluttu suhteellinen kosteus 85 %. Muuttujan arvot on laskettu MoistureCalc-ohjelmalla.

Tasoitteen koostumus vaikuttaa kuivumiseen (kuva 44). Esimerkiksi Vetonit 4360 Karkea Plaano kuivuu 30 mm paksuisena 8 päivässä, eli kolme kertaa nopeammin. Desibeli plaano kuivuu Plaano Plussaa noin 25 % nopeammin.

Kuvasta 45 näkyy tasoitteen vaikutus betonin suhteelliseen kosteuteen. Betonivalu oli valettu maaliskuussa. Ensimmäiset yhdeksän viikkoa oli ympäristön lämpötila alle 10 °C. Itsetasoittuvan tasoitteen paksuus oli 20 mm. Suhteellinen kosteus oli mitattu työmaakohteessa 3,5 cm syvyydeltä. Tasoite oli asennettu viikon 12 kohdalla. Kuvaajasta näemme, että K30- ja NP K30-betoneissa betonin suhteellinen kosteus nousee noin 8 prosenttiyksikköä noin neljäksi viikoksi. Tasoite siirtää betonin normaalia kuivumiskäyrää kuukaudella eteenpäin. NP K50-betonissa sen sijaan kosteus ei nouse kuin muuttaman prosenttiyksikön. Korkeamman lujuusluokan betoni ei ime tasoitteesta kosteutta, koska betonin pinta on tiiviimpi. NP K50-betonissa on myös alhainen vesi-sideainesuhde, josta johtuu yleisesti alhaisempi betonin huokosilman suhteellinen kosteus.



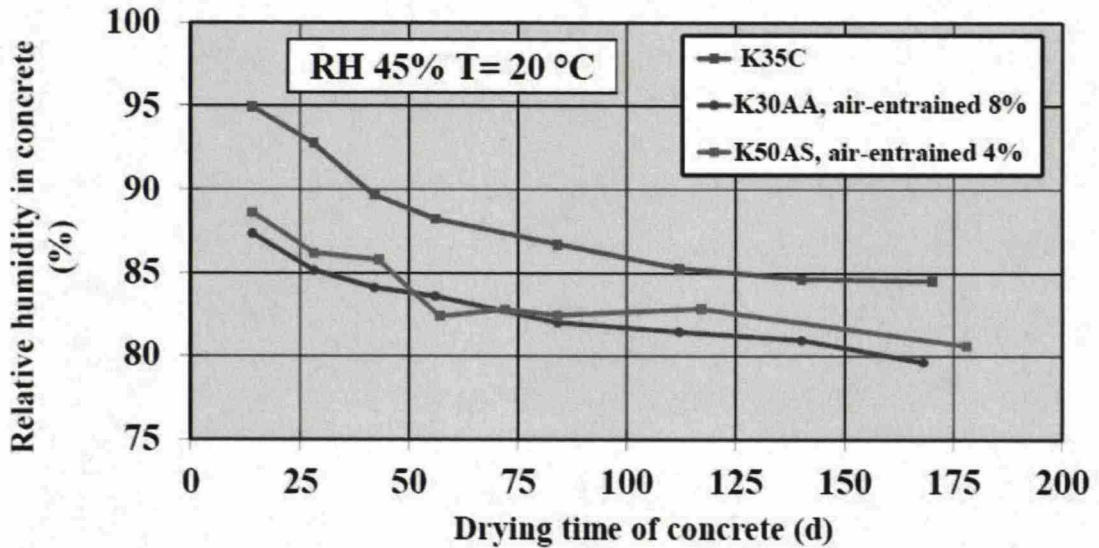
Kuva 45 Tasoittamisen vaikutus betonin suhteelliseen kosteuteen eri betonilaaduilla. Tasoitus tapahtunut viikolla 12 (Penttala 2011).

5.9 Muut muuttujat

Muut muuttujat osioon kuuluvat ne tekijät, joita ei voitu tarkastella Torkas-ohjelmalla tai muilla menetelmillä. Tiedot on haettu kirjallisuudesta.

Maksimiraekoon kasvattamisella vähennetään veden tarvetta ja lisätään vesihöyrynläpäisevyyttä. ”Kasvattamalla betonin maksimiraekoko 16 mm:stä 32 mm:iin lyhenee betonin kuivumisaika noin kolmanneksella” (Johansson et al. 1995, 9).

Mitä enemmän betonissa on ilmaa, sitä suurempi on kosteuden haihtumisnopeus. Huokoistamalla 8–10 prosenttiin voidaan kuivumisaikaa lyhentää 50–70 % kuin vastaavan lujuusluokan huokoistamattomalla betonilla (Johansson et al. 1995, 9). Kuvassa 46 on vertailtu eri betonilaatuja ja huokoistamisprosentteja. K30-betoni huokoistettuna 8 prosenttiin kuivuu nopeammin kuin K50-betoni huokoistettuna 4 prosenttiin, vaikka K50-betonissa on pienempi vesi-sideainesuhde kuin K30-betoneissa.



Kuva 46 Huokoistamisen vaikutus betonin kuivumiseen (Penttala 2012).

Betonin lämpötilaa nostamalla voidaan nopeuttaa kuivumista merkittävästi. Vesivahinkokorjauksissa käytetään korkeita lämpötiloja. Rakenteen lämpötilan noston vaikutus kuivumiseen perustuu vesihöyryn paine-eroon. Lämpötilaa nostamalla betonin huokosilman suhteellinen kosteus nousee, kun huokosen pintaan absorboitunut kosteus höyrystyy huokosilmaan. Huokosilman suhteellinen kosteus ei muutu kuin normaali ilma. Vesihöyry ei pääse tasautumaan huokosilmasta ympäröivään ilmaan, koska betonin vesihöyrynvastus estää vesihöyryn siirtymistä. Ympäristön lämpötila ja suhteellinen kosteus on yleensä huomattavasti pienempi kuin lämmitetyn betonin. Vesihöyryn paineeron kasvaessa kosteutta siirtävät voimat kasvavat. Mitä suurempi on vesihöyryn paineero, sitä nopeampaa kuivumien on.

Tässä esitellään yksinkertaistettu esimerkki vesihöyryn paine-eron vaikutuksesta. Betoni pyrkii tasapainoon ympäristön kanssa. Asetetaan ympäristön lämpötilaksi 21 °C ja suhteelliseksi kosteudeksi 40 %, tehokuivatetun betonin lämpötilaksi 30 °C ja suhteelliseksi kosteudeksi 90 %. Ympäristön vesihöyryn paine on $(2485 \text{ Pa} \cdot 0,4)$ 994 Pa ja betonin vesihöyryn paine on $(4239 \text{ Pa} \cdot 0,9)$ 3815 Pa. Erotukseksi saadaan 2821 Pa. Vertailuna normaalioloissa kuivuva betonin lämpötila 21 °C ja suhteellinen kosteus 90 %, ympäristön lämpötila 18 °C ja suhteellinen kosteus 40 %. Ympäristön vesihöyryn paine on $(2485 \text{ Pa} \cdot 0,4)$ 994 Pa ja betonin vesihöyryn paine $(2465 \text{ Pa} \cdot 0,9)$ 2218 Pa. Normaalioloissa kuivuvan vesihöyryn paine-erojen erotukseksi saadaan 1224 Pa. Normaa-

lioloissa ja tehokuivatetun betonin välisten vesihöyryn paine-erojen erotus on (2821 Pa – 1224 Pa) 1597 Pa. Tehokuivatetun betonin kosteutta siirtävät voimat ovat noin 2,3-kertaa suuremmat kuin normaalioloissa kuivuvan betonin kosteutta siirtävät voimat. Tehokuivauksessa vaikuttavat muutkin tekijät, kuten kapillaarisuus, vesi-sideainesuhde ja huokoistusprosentti. Tehokuivauksessa tulee huolehtia, että ympäristön suhteellinen kosteus ei nouse liian korkeaksi. Liian korkeassa suhteellisessa kosteudessa betoni ei kuivu.

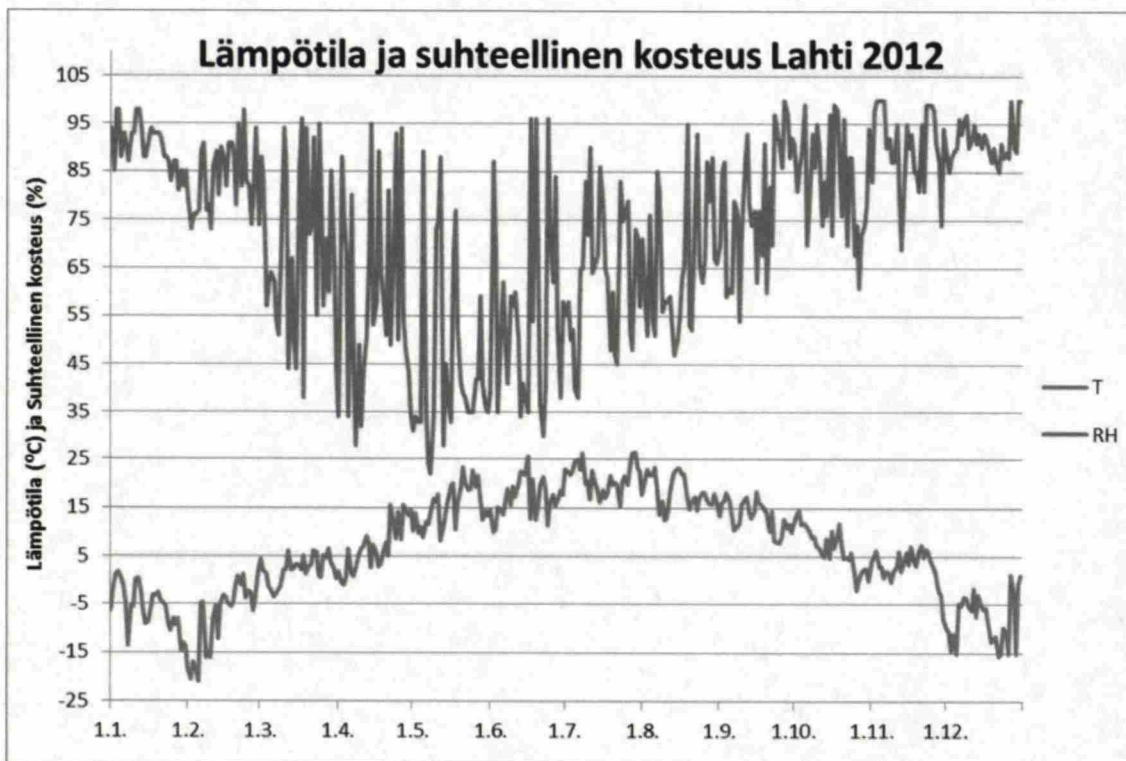
Betonivalun jälkihoidolla voidaan lyhentää kuivumisaikaa. Betoni hydratoituu paremmin, kun betonin liian nopea kuivuminen estetään. Suuremmalla hydrataatioasteella rakennekosteutta sitoutuu kemiallisesti ja haihdutettavaa kosteutta on vähemmän. Kosteuden liian nopeaa haihtumista voidaan estää esimerkiksi jälkihoitoaineella tai betonin päälle levitettävällä muovilla.

Huono jälkihoito, ympäristöolosuhteet, rakenneratkaisut ja betonin koostumus voi lisätä kutistumishalkeilua. Betoni kuivuminen voi nopeutua mikrohalkeamien myötä. Hallitsematon halkeilu ei ole usein tarkoituksen mukaista.

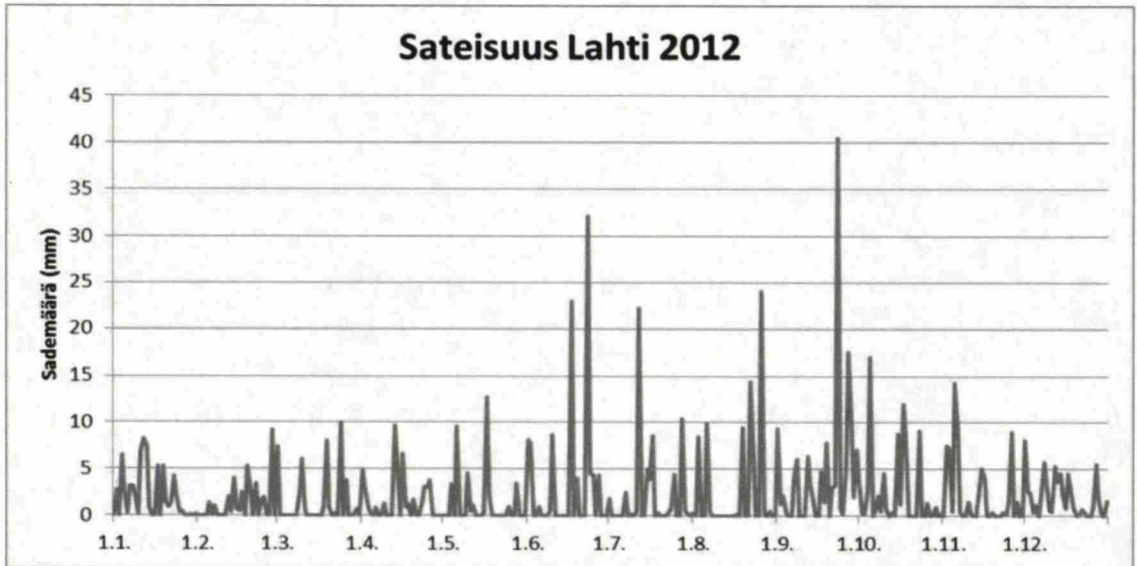
6 Vuodenajan vaikutus

Vuodenajan vaikutusta tutkittiin maanvastaisella rakenteella, väliseinäelementillä sekä kuorilaattarakenteella. Kuorilaatta otettiin tutkittavaksi, koska tapauksen peruskerrosta-
lossa ei ollut kylpyhuoneissa tekniikkalaattoja käytössä.

Esimerkkikohteena käytettiin As Oy Lahden Kannustuvan aikataulua. Kohde on kahdeksankerroksinen ja yksirappunen kerrostalo. Kerrostalossa on 34 asuntoa (2144 as^m², 3032 br^m², 9400 rm³). Kerrostalo oli aloitettu 2008 huhtikuussa ja luovutettu maaliskuussa 2009. Kerrostalon rakentamisaika oli viikkoina 50, josta oli vähennettynä heinäkuu sekä joulun ja uudenvuodenvaiheessa kaksi viikkoa eli 11 kuukautta. Liitteessä 7 on esitetty Kannustuvan yksinkertaistettu yleisaikataulu. Liitteessä on myös esitetty rakenteiden lyhimmät kuivumisajat, joilla vuodenaikaa on testattu.

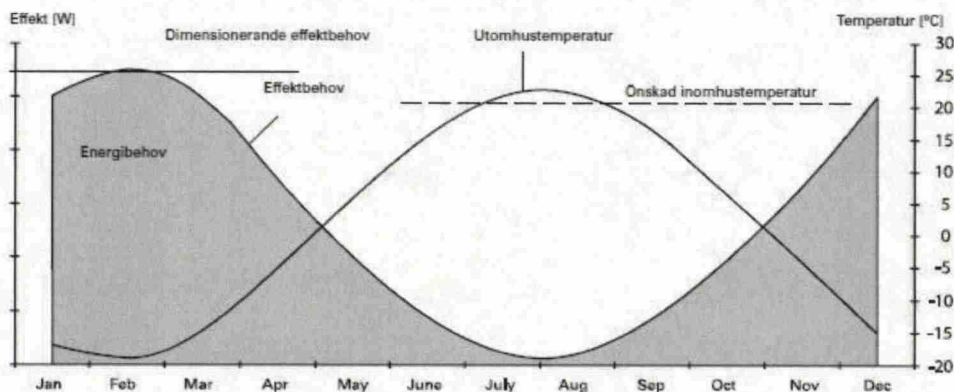


Kuva 47 Lämpötila ja suhteellinen kosteus Lahdessa 2012. (Ilmatieteenlaitos 2013)



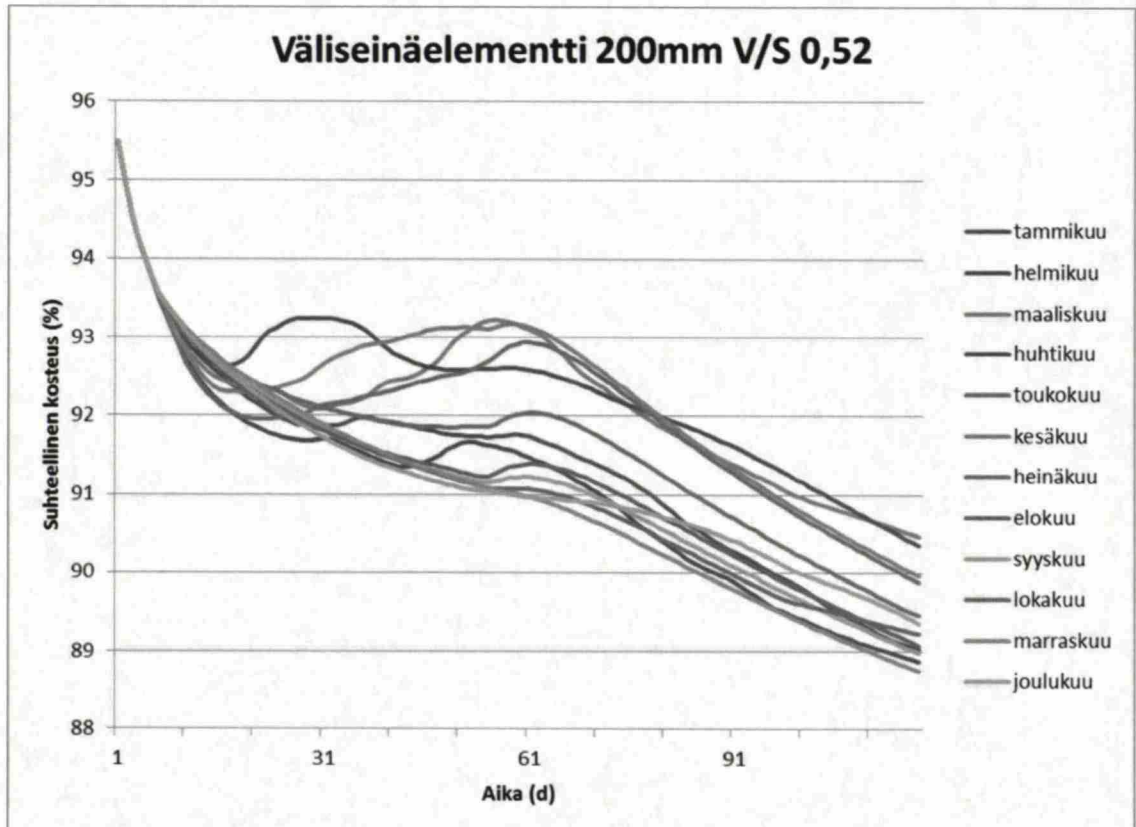
Kuva 48 Sateisuus Lahdessa 2012. (Ilmatieteenlaitos 2013)

Ympäristön olosuhteena käytettiin Lahden vuoden 2012 lämpötiloja (kuva 47) ja sateisuutta (kuva 48). Vuosi 2012 oli useilla ilmatieteenlaitoksen mittauspisteillä sateisin viimeiseen 50 vuoden ajalta tarkasteltuna. Vuoden keskilämpötila oli tavanomainen (Ilmatieteenlaitos 2013.) Lämpötila ja suhteellinen kosteus oli määriteltä kello 12 mukaan. Torkas-ohjelmaan ei voi määrittellä sademäärää millimetreinä, ainoastaan onko päivän aikana satanut. Lämmitystarve määriteltiin kuvan 49 perusteella. Kuvaajasta huomataan lämmitystarpeen osuvan lokakuusta huhtikuuhun. Lämmitystä käytettiin 1.10–31.3 välillä. Ympäristön lämpötilaksi määriteltiin lämmityksen aikana 18 °C ja suhteelliseksi kosteudeksi 50 %. Huhtikuusta syyskuun loppuun käytettiin ulkoilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Rakenne katsottiin tiiviiksi ja lämmityksen katsottiin vaikuttavan, kun kyseisen rakenteen yläpuolella oli neljä kerrosta tai vesikatto.



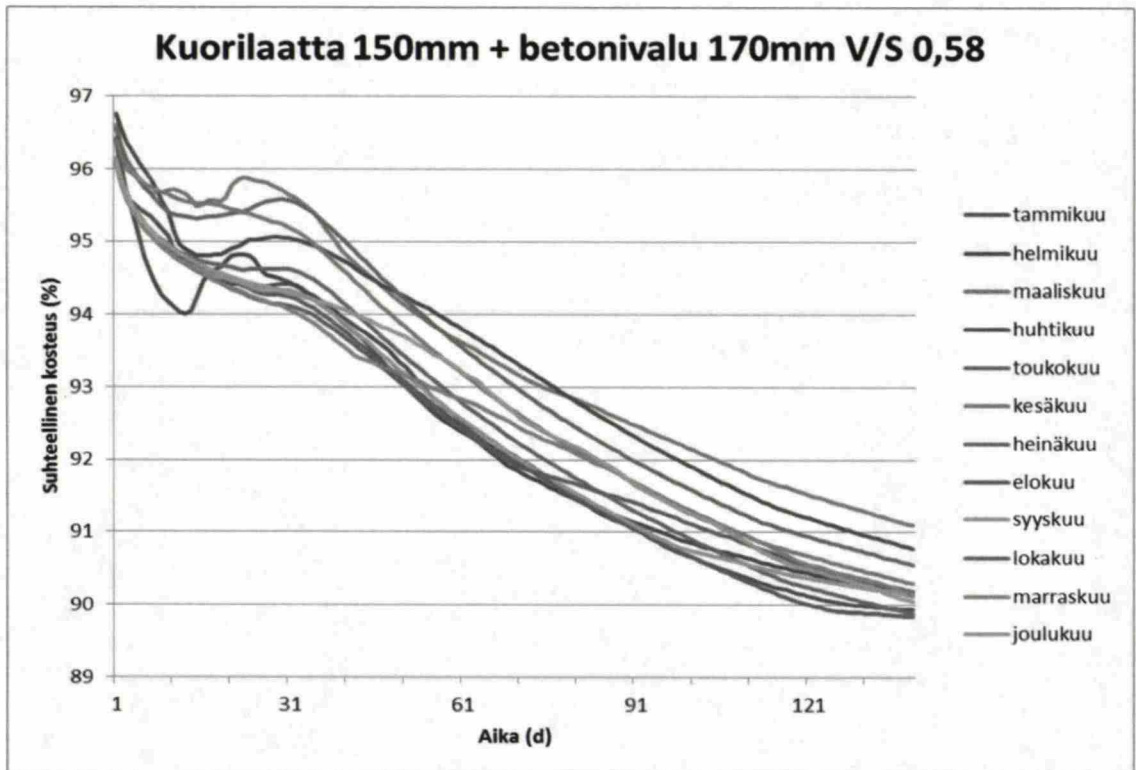
Kuva 49 Periaatekuva rakennusten lämmitystarpeesta Ruotsissa (Teknisk Handbok, 134).

Liitteessä 8 on esitetty jokaiselle rakenteelle ja aloituskuukaudelle toimenpideviikot. Esimerkkinä: työmaa alkaa tammikuun ensimmäisenä päivänä. Viikon 7 maanantaina valetaan maanvastainen lattia. Maanvastaisen rakenne tiivistetään ja lämmityslaitteet laitetaan päälle viikon 13 maanantaina. Rakenne päällystetään viikon 34 maanantaina. Aikataulussa ei ole huomioitu pyhäpäiviä tai lomia. Tarkastelu on tehty jokaiselle kaudelle ja rakenteelle samalla periaatteella.



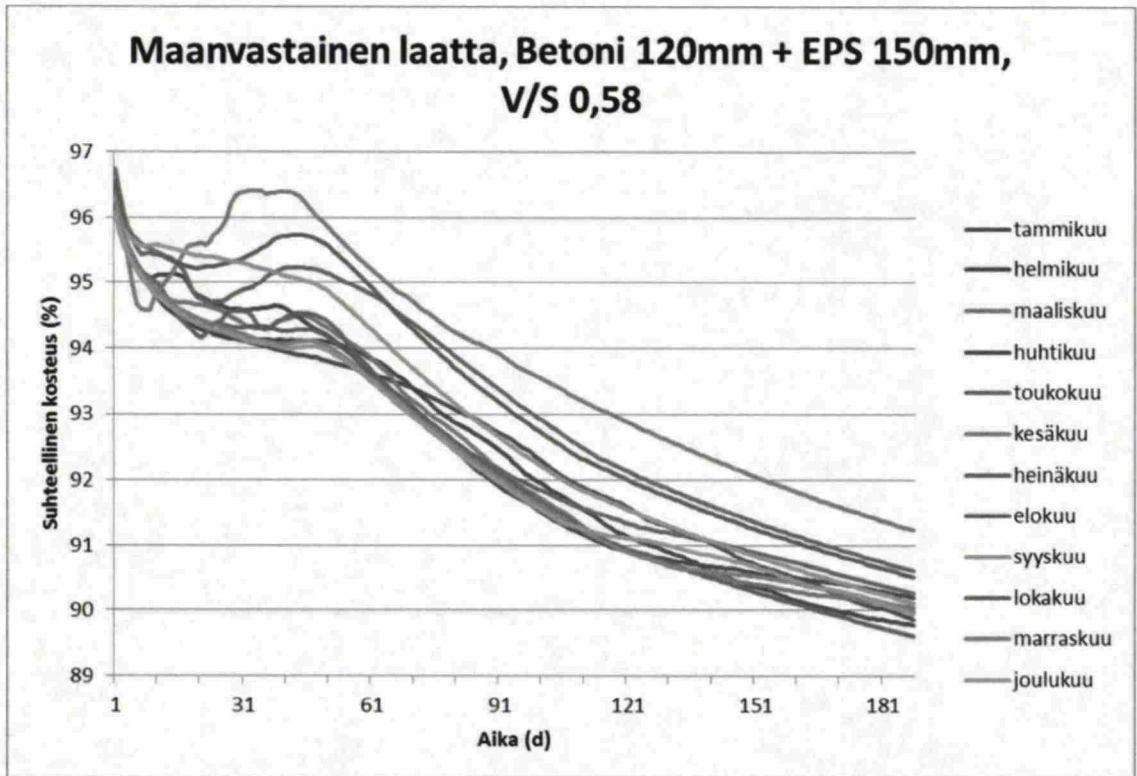
Kuva 50 Työmaan aloitusajankohdan vaikutus kahdeksannen kerroksen väliseinäelementin kuivumiseen. Muuttujan arvot on laskettu Torkas-ohjelmalla.

Väliseinäelementin paksuudeksi valittiin 200 mm. Väliseinäelementit valettiin viisi viikkoa ennen asentamista. Elementtien kohdalla ensimmäiseksi seitsemäksi päiväksi lämpötila määriteltiin 18 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Seitsemän päivän jälkeen lämpötila ja suhteellinen kosteus määrittyivät ulkoilman mukaan. Vesi-sideainesuhteeksi valittiin 0,52. Samaa vesi-sideainesuhdetta oli käytetty case-kohteen väliseinäelementtien tuotannossa. Lämmitys ja tiivistys aloitettiin noin 60 päivän jälkeen. Lyhimmäksi kuivumisajaksi jäi kahdeksannen kerroksen elementit (liite 7, violetti viiva). Kuivumisaika tehtaasta valusta oli 17 viikkoa. Kuvan 50 mukaan huonoimmat aloitusajankohdat työmaalle ovat maaliskuusta kesäkuuhun.



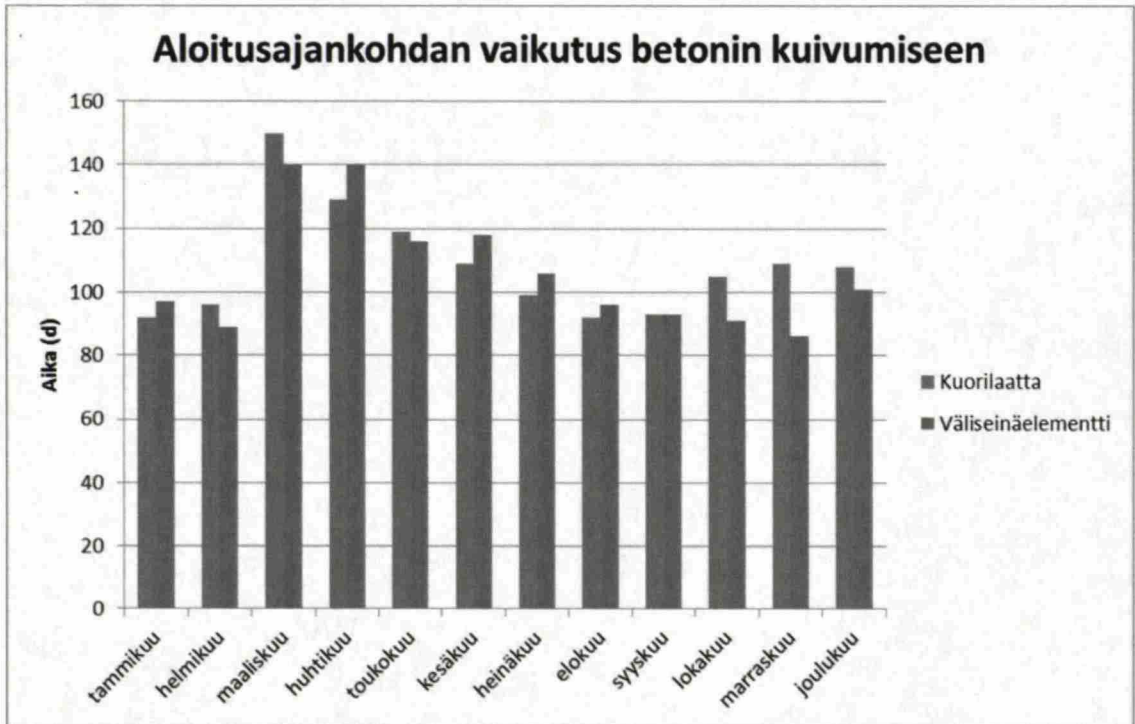
Kuva 51 Aloitussajankohdan vaikutus kahdeksannen kerroksen kylpyhuoneiden kuorilaattojen kuivumiseen. Muuttujan arvot on laskettu Torkas-ohjelmalla.

Kuorilaataksi valittiin 150 mm kantava kuoriosuus ja betonivaluksi 170 mm, joka vastaa ontelolaattaa 320 mm (O32). Kuorilaatan osuutta ei voitu nostaa Torkas-ohjelmassa. Pintabetoni jonka paksuus on 170 mm, saadaan asennettua viemärit ja kaadot. Rakenne ei täytä asuinkerrostalon ääneneristysvaatimuksia sellaisenaan (Elementtisuunnittelu www-sivut 2013). Kylpyhuoneiden jälkivalut oli valettu vesi-sideainesuhteella 0,58. Vesi-sideainesuhteella 0,7 ei päästy Torkas-ohjelman mukaan alle 90 % suhteellisen kosteuden. Vesi-sideainesuhde 0,58 valittiin tarkastelun helpottamiseksi ja se vastaa suunnilleen NP-betonia. Normaalin K30 betonin vesi-sideainesuhde on noin 0,7. (Solante 2013.) Lisäkostuminen vaikuttaa suuresti suuremmalla vesi-sideainesuhteella. Kriittisimmäksi valuksi jäi kahdeksannen kerroksen betonivalut (liite 7, punainen viiva). Kuivumisaika valusta oli 20 viikkoa. Huonoimmaksi työmaan aloitusajankohdaksi osoittautui aika maaliskuusta toukokuuhun (kuva 51).



Kuva 52 Aloitusajankohdan vaikutus maanvastaisen laatan kuivumiseen. Muuttujan arvot on laskettu Torkas-ohjelmalla.

Maanvastaiseksi rakenteeksi valittiin 120 mm betonilaatta, sekä alapuoliseksi eristeeksi 150 mm EPS-eristettä. Maanvastaisen laatta oli valettu NP-betonilla tarkastelun helpottamiseksi. Maanvastaisen laatan kuivumisaika oli 27 viikkoa (liite 7, musta viiva). Maanvastainen laatta kuivuu yhteen suuntaan, kun alapuolella on EPS-eriste. Rakenteen voidaan katsoa kuivuvan alapäin, jos betoni on lämpimämpää kuin alapuolinen maa. Kuivuminen alapäin on kuitenkin mitätöntä. Huonoimmaksi työmaan aloituskuukau-
deksi osoittautui kesäkuu. Muita heikkoja aloituskuukausia olivat touko-syyskuu ja tammikuu (kuva 52).



Kuva 53 Työmaan aloitussajankohdan vaikutus betonin kuivumiseen, tavoitekosteus 90 %.

Kuvassa 53 on esitetty kuorilaatan ja väliseinäelementin kuivumisajat. Kuvaajasta erottuu selvästi huonot aloitussajankohdat, jotka ovat maaliskuusta kesäkuuhun. Muina kuu-kausina aloitettuna kuivumisajat ovat melko samoissa lukemissa, noin 90–100 päivää.

Maanvastaisen laatan huonojen aloitussajankohtien kuukaudet eivät osuneet kuorilaatan ja väliseinäelementtien kanssa yhteen. Maanvastainen laatta valetaan eri aikaan kuin kuorilaatat ja väliseinäelementit, ja se kuivuu vain yhteen suuntaan. Kerrostaloissa maanvastaisten rakenteiden osuus verrattuna välipohjiin ja väliseiniin on huomattavasti pienempi. Liitteessä 9 voi kuitenkin huomata, että maanvastainen laatta on ympäristö-rasituksille alttiina samat kuukaudet kuin kuorilaatat ja väliseinäelementit. Aikataulusta huomataan, että ajanjaksolla kesäkuusta lokakuun loppuun (viikot 23–44) on rakenteesta riippumatta huonot olosuhteet betonin kuivumiselle. Kesäkuusta elokuun loppuun on lämmintä ja kosteaa. Syyskuusta lokakuun loppuun on sateista. Rakenteet kastuvat eniten, jos ne ovat alttiina ympäristön kosteudelle aikavälillä kesäkuusta lokakuuhun. Kesä- ja heinäkuussa rakenteen ja ympäristön välinen vesihöyryn paine-ero on niin mitätön, että rakenne ei juuri kuivu. Huonoimmassa tapauksessa rakenne voi absorboida kosteutta ympäristöstä.

7 Laskennalliset kuivumisajat

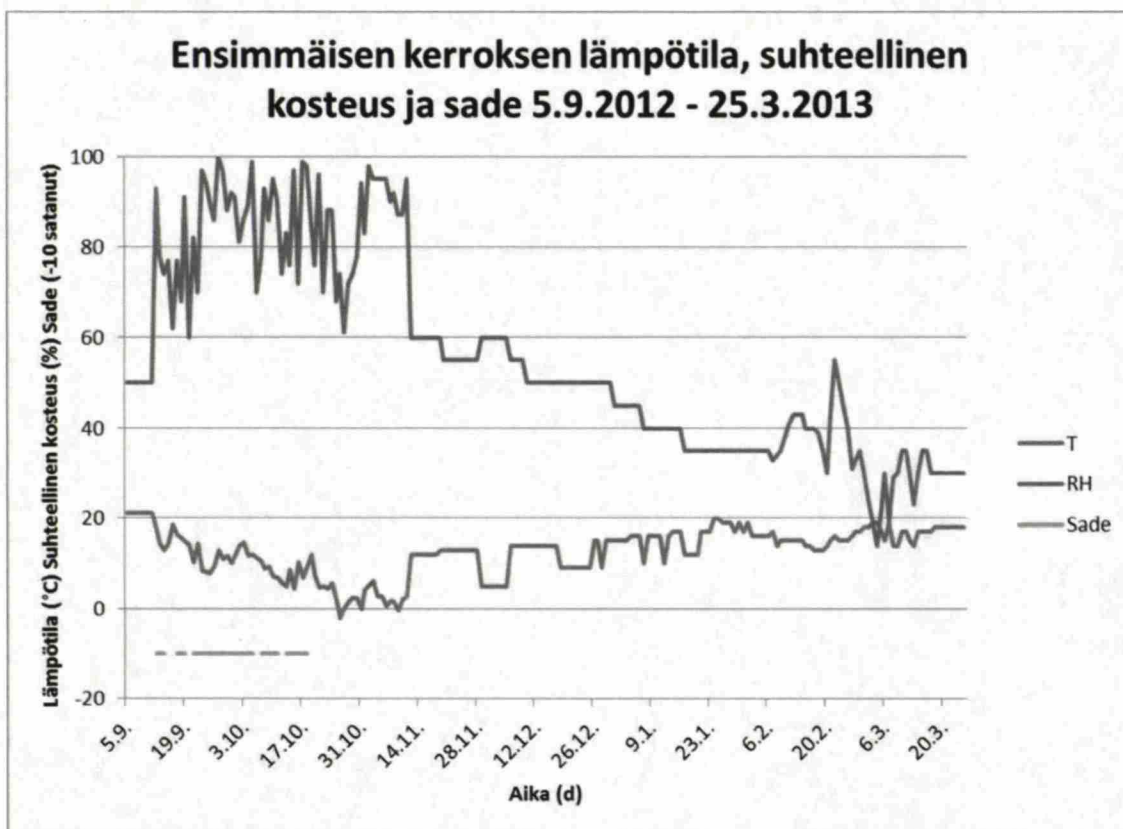
Tutkimuksessa tutkittiin Torkas-ohjelman tuloksia mitattuihin suhteellisiin kosteuksiin.

Laskennallisia kuivumisaikoja testattiin eri rakenteilla:

- alapohjalla (kuva 15)
- ulkoseinällä (kuva 16)
- väliseinällä (kuva 17)
- välipohjalla (kuva 18)

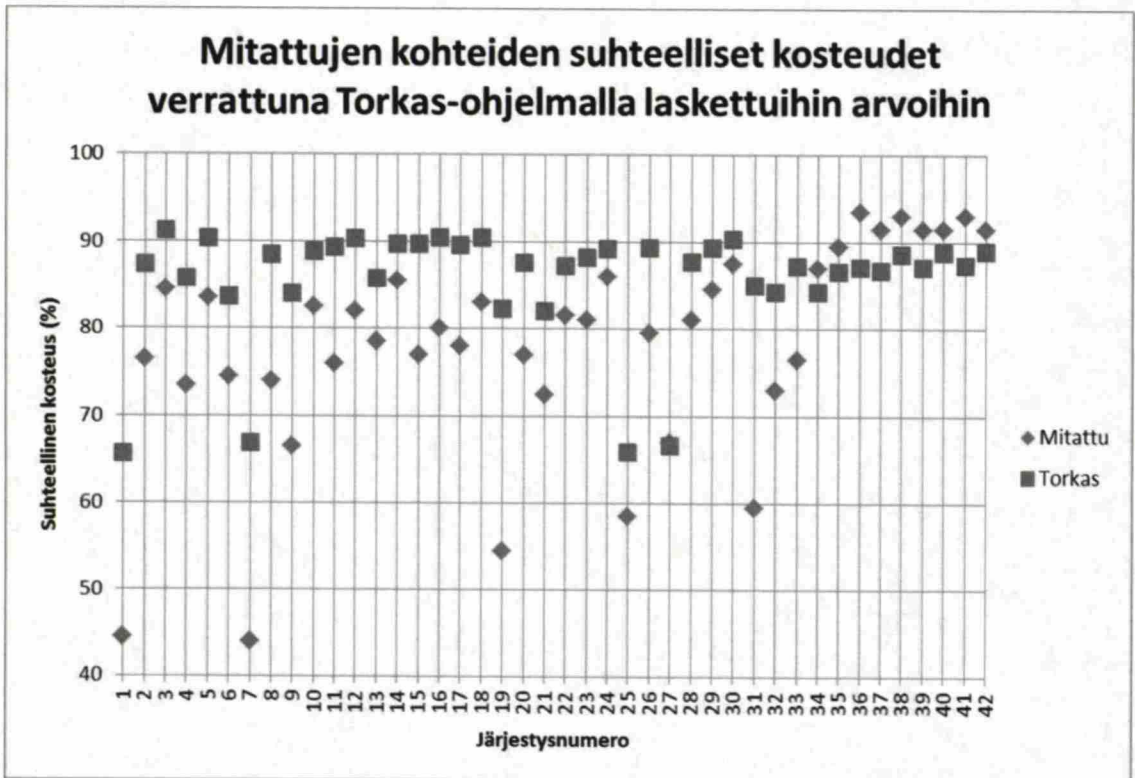
Ulkoilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja sademäärä saatiin ilmatieteenlaitokselta. Mittauspisteenä oli Lahti, Laune ajalta 5.9.2012–25.3.2013. Kohteen sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus arvioitiin asennusaikataulun, lämmityksen aloituksen, sekä mittauksen perusteella. Lämmitys aloitettiin viikolla 45/2012. Sisäilman lämpötilaa arvioitiin niille päivämäärille, jolloin lämpötilasta ei ollut tietoa. Kuvassa 54 on ensimmäisen kerroksen lämpötila, suhteellinen kosteus ja sade. Liitteessä 10 on kerroksien 2–5 lämpötilat, suhteelliset kosteudet ja sateet.

Laskennallisessa tarkastelussa elementtejä säilytettiin valupäivä mukaan lukien seitsemän päivää lämpötilassa 21 °C ja suhteellinen kosteus oli 50 %. Alku kuvastaa elementtitehtaan olosuhteita. Seitsemän päivän jälkeen ympäristönä oli ulkoilman olosuhteet. Rakenteen katsottiin olevan tiivis, kun yläpuolella oli kaksi kerrosta tiivistä holvia. Rakenteissa on usein hormin reikiä sekä muita aukkoja, joista sadetta voi päästä alempiin kerroksiin. Porareikämittauksia ei tehdä näistä kohdista.



Kuva 54 Ensimmäisen kerroksen lämpötila, suhteellinen kosteus ja sade 5.9.2012 – 25.3.2013. Torkas-ohjelmassa on vain määritelty sade kyllä tai ei. Kuvaajassa arvo -10 kuvaa sadetta. Tiivistys 24.10 ja lämmityksen aloitus 12.11.

Suhteellisen kosteuden mittaukset suoritti Cramo Finland Oy. Mittaustuloksia saatiin yhteensä 90 kpl. Mittaustulokset jakautuivat seuraavasti: tekniikkalaatat 56 kpl, väliseinät 25 kpl, ulkoseinistä kaksi kappaletta ja alapohjista seitsemän kappaletta. Epäonnistuneita mittauksia oli kaksi kappaletta. Mitatut syvyydet poikkesivat RT 14-10984 – kortin ohjeista. Mitatut syvyydet vaihtelivat 15–70 millimetrin välillä, sekä prosentuaalisesti 6–26 prosentin välillä. Betonin lämpötilan ollessa mittaushetkellä alle 15 °C oli mittaustuloksia 60 kpl. Mitattuja tuloksia korjattiin lämpötilakertoimilla. Betonin lämpötilan ollessa alle 20 °C, suhteellista kosteutta lisätään 0,5 % / 1 °C. Alhainen lämpötila johtui puutteellisesta lämmityksestä, tai liian aikaisesta mittausajankohdasta. Cramon mittauspöytäkirja löytyy liitteestä 1.



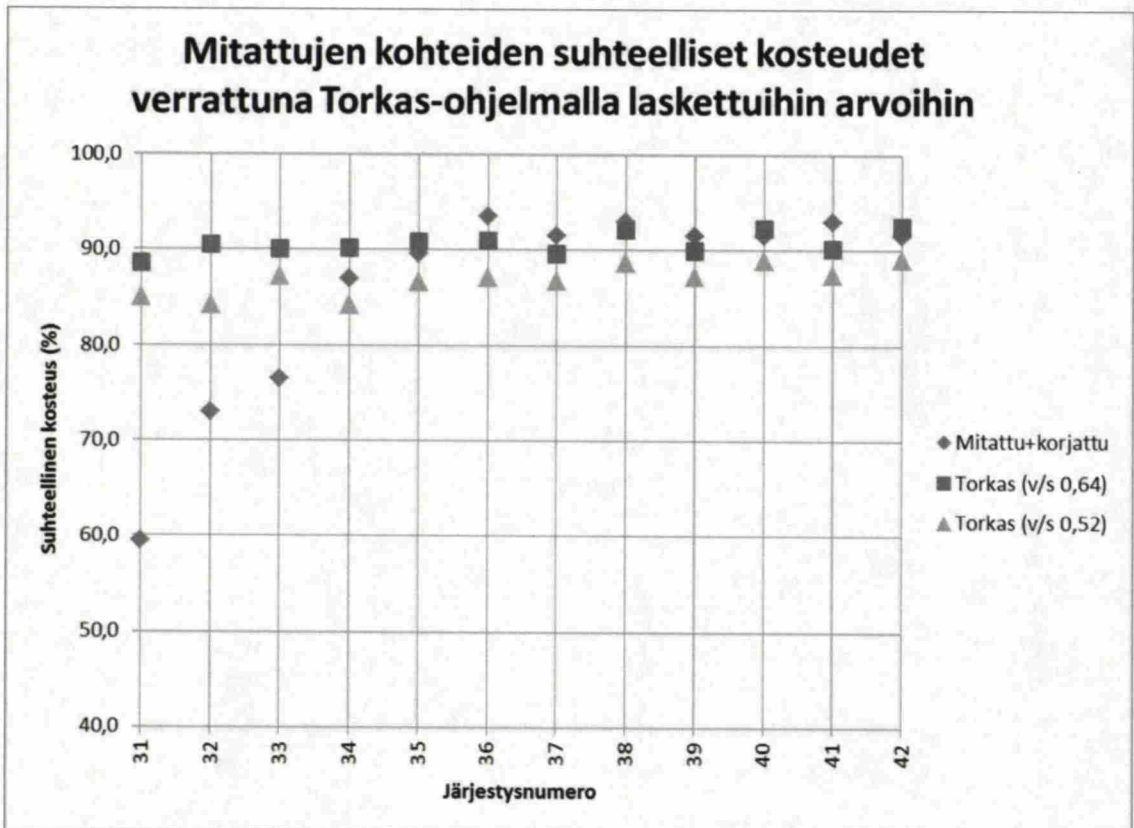
Kuva 55 Mitattujen (+lämpötila korjattujen) kohteiden suhteelliset kosteudet verrattuna Torkas-ohjelmalla laskettuihin arvoihin.

Kuvan 55 taulukoidut numerot ja vertailevat mittaukset löytyvät liitteestä 13. Kuvan ja liitteen mukaan mitattujen ja laskennallisten arvojen vaihteluväli on -28...+6 % RH. Torkas-ohjelmalla saatiin yleisesti suurempia suhteellisia kosteuksia, kuin työmaalla oli mitattu. Keskimääräinen poikkeama oli -7,4 % RH. Tuloksista löytyi yksi yhteneväisyys mittapoikkeamille. Tulokset vastasivat toisiaan, kun mitattu suhteellinen kosteus oli välillä 95–81 %. Vaihteluväli suhteellisen kosteuden ollessa 95–81 % on -8,3...+6,4 % RH. Muutoin yhteneväistä selitystä poikkeaville arvoille ei löytynyt seuraavista muuttujista:

- rakenne
- mittauspäivä tai päiviä valusta
- vesi-sideainesuhde
- syvyys millimetreinä tai syvyys prosentteina
- betonin lämpötila mittaushetkellä
- lattiatasoitteen asennusajankohta

Rakennuksen länsi- ja itäpäädyissä saattoi olla lämpötilaeroja päivistä riippuen noin ± 3 °C, pienillä lämpötilaeroilla ei näyttänyt olevan merkitystä tuloksiin.

Väliseinät (järjestysnumerot 31–42) näyttävät muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta matalampia tuloksia kuin mitatut tulokset. Väliseinät ja välipohjat kuivuvat kahteen suuntaan. Paksummat välipohjat näyttävät kuivuvan nopeammin kuin ohuimmat väliseinät. Voidaankin olettaa, että väliseinäelementtien todellinen vesi-sideainesuhde oli suurempi kuin tehtaan ilmoittamaa luku, tai jokin muu muuttuja hidastaa väliseinien kuivumista. Tehtaan ilmoittama vesi-sementtisuhde oli 0,52. Tehtaan ilmoittama vesi-ilma-sementtisuhde oli 0,64. Betoniseokseen oli lisätty huokostinta 0,13 %. Väliseinäelementtejä testattiin vesi-sideainesuhteella 0,64 (kuva 56).



Kuva 56 Vaihtoehtoisilla vesi-sideainesuhteilla on verrattu väliseinäelementeistä mitattuja ja laskennallisia tuloksia.

Muutamaa poikkeusta (31–33) lukuun ottamatta tulokset näyttäisivät vastaavan toisiaan erittäin hyvin. On hyvin todennäköistä että vesi-sideainesuhde 0,64 on lähempänä todellista, kuin vesi-sideainesuhde 0,52. Väittämä perustuu seikkaan, että väliseinäelementti tulisi kuivua nopeammin kuin laskelmissa vertailtu paksumpi välipohja. Liitteen 13 mukaan voidaan todeta kaikkien tekniikkalaattojen mitattujen tulosten olevan alhaisempia kuin väliseinien tulokset (järjestysnumerot 34–42). Liitteessä 14 on taulukoidut mittaustulokset väliseinien osalta vesi-sideainesuhteella 0,64. Vaihteluväli vesi-sideainesuhteiden välillä oli 2,7...6,2 % RH.

8 Tulokset

8.1 Muuttujien vaikutus

Työmaalla kontrolloitavat

Ympäristön lämpötila vaikuttaa suuresti betonin kuivumiseen. Lämpötilaa on työmaaoloissa helppoa kontrolloida. Ovi- ja ikkuna-aukot voidaan korvata väliaikaisilla suojuksilla. Lämpötilan nosto 5 °C:lla välillä -5...+20 °C nopeuttaa kuivumista noin 15 % tavoitekosteuden ollessa 90 %. Lämpötilan nosto 5 °C:lla välillä +20...30 °C nopeuttaa kuivumista noin 20 % tavoitekosteuden ollessa 90 %. Työmaaoloissa on siis mahdollista nopeuttaa kuivumista vähäisillä toimilla ainakin 30 %. Työmaaoloja voi helposti valvoa noin 100 euron kosteus- ja lämpömittarilla.

Ympäristön suhteellisen kosteuden muutosta Torkas-ohjelma mallinsi poikkeavasti muihin menetelmiin verrattuna. Suhteellisen kosteuden muutos välillä 35...65 % ei muuttanut kuivumista. Yli 65 % suhteellisen kosteus pidentää kuivumisaikaa. Torkas-ohjelman mukaan suhteellisen kosteuden nosto 10 prosenttiyksiköllä hidastaisi kuivumisaikaa muutamia prosentteja. BY 1021- ja Lathund-menetelmillä suhteellisen kosteuden nousu 10 % hidastaisi kuivumista noin 10 %. Ympäristön suhteellisen kosteuden ollessa yli 90 % betonin kuivumien hidastuu merkittävästi ja voi absorboida kosteutta ympäröivästä ilmasta. Työmaamittauksissa ympäristön suhteellinen kosteus oli noin 20–50 % välillä. Suhteellinen kosteus nousi tasoitetöiden aikana pariksi päiväksi yli 65 %. Betonille hyvät kuivumisolosuhteet ovat 20 °C ja suhteellinen kosteus alle 50 %.

Lisäkastumisella oli suuri vaikutus betonin kuivumiseen. Mitä pienempi vesi-sideainesuhde, sitä enemmän kastuminen ensimmäisten 1–4 viikon aikana vaikuttaa. Mitä myöhemmin rakenne kastuu, sitä suurempi vaikutus sillä on suurella vesi-sideainesuhteella. Matalalla vesi-sideainesuhteella betonista tulee tiivistä hydrataation myötä. Suurella vesi-sideainesuhteella betonin huokosrakenne ei ole tiivistä ja lisäkastuminen kuivuu kapillaariverkoston kautta. Lisäkastumisen pidentävään vaikutukseen vaikuttavat merkittävästi vesi-sideainesuhde ja kapillaariverkoston sulkeutuminen (taulukko 2). Lisäkastuminen voidaan estää lähes täysin työmaalla, mutta suojuukset lisäävät samalla kustannuksia. Ylimääräinen vesi tulee poistaa välittömästi esimerkiksi vesimurilla ja lumi tulee poistaa mekaanisilla työvälineillä. Kostean ympäristön vaikutus ei pidentänyt kuivumista merkittävästi. Saderasitus pidentää betonin kuivumista jopa kak-

sinkertaisesti. Taulukossa 4 on esitetty lisäkastumisen vaikutus betonin kuivumiseen. Vesi-sideainesuhteella 0,5; prosentuaalinen ero on suurempi kuin vesi-sideainesuhteella 0,7; koska kokonaiskuivumisajat ovat lyhemmät.

Taulukko 4 Kosteusrasitusten vaikutus vesi-sideainesuhteiden mukaan, tavoitekosteuden ollessa 90 %. Perustuu Torkas-ohjelmasta saatuihin arvoihin.

Vesi-sideainesuhde			
0,5	0,7		
		Kuivassa	
15 %	5 %	Kostea 2 viikkoa	
25 %	8 %	Kostea 4 viikkoa	
75 %	20 %	Sadetta 2 viikkoa	
100 %	30 %	Sadetta 4 viikkoa	

Vesi-sideainesuhde on yksi merkittävimmistä muuttujista. Vettä tarvitaan betonin työstämiseen ja hydrataatioon. Veden määrää voidaan alentaa erilaisilla lisäaineilla sekä betonin koostumusta muuttamalla. Normaalin K30 lujuusluokan vesi-sideainesuhde on noin 0,7. Normaalin betonin vesi-sideainesuhteita muutetaan työmaalla harvemmin, ellei vesi-sideainesuhteita ole määritelty asiakirjoihin. Torkas- ja Lathund-menetelmissä vesi-sideainesuhteen nosto vaikutti kestoihin eksponentiaalisesti, kun BY 1021-menetelmässä se käyttäytyi lineaarisesti. Torkas-ohjelma näytti vesi-sideainesuhteella 0,7 noin kaksinkertaista kestoaa verrattuna BY 1021- ja Lathund-menetelmään. Taulukossa 5 on esitetty vesi-sideainesuhteen vaikutusta betonin kuivumiseen.

Taulukko 5 Vesi-sideainesuhteen vaikutus betonin kuivumiseen, tavoitekosteus 90 %. Perustuu Torkas-ohjelmasta saatuihin arvoihin.

Vesi-sideainesuhteen muutos	
-25 %	0,8 --> 0,7
-100 %	0,7 --> 0,6
-100 %	0,6 --> 0,5
-400 %	0,5 --> 0,4

Sementin määrää testattiin Torkas-ohjelmassa. Sementin määrää nostamalla nostetaan myös lujuusluokkaa. Sementti on kalliimpaa, kuin esimerkiksi sideaineena toimivat halvemmat lentotuhka ja masuunikuona. Rasitusluokat määräävät sementin minimimäärän. Normaalin betonin sementtimäärä muutetaan työmaalla harvemmin, ellei sementin

määrää ole määritelty asiakirjoihin. Betonin kuivumista voidaan nopeuttaa noin 10 % lisäämällä vettä ja sementtiä $(10 \text{ l}/20 \text{ kg})/\text{m}^3$.

Lattiatasoitteiden vaikutusta tutkittiin betonin kuivumiseen. Yksi kilo tasoitetta tarvitsee viidesosan kuivapainosta vettä. Alusbetoni voi absorboida kosteutta tasoitteesta. Tiivis tasoite voi myös hidastaa kosteuden siirtymistä betonista ympäröivään ilmaan. Tasoite siirtää betonin kuivumista noin 1–4 viikkoa. Tasoitteen paksuus vaikuttaa kuivumiseen. Mitä paksumpi tasoitekerros, sitä kauemmin kuivuminen kestää. Tasoite tulisi asentaa mahdollisimman aikaisin. Taulukossa 6 on esitetty tasoitteen paksuuden vaikutusta tasoitteen kuivumiseen. Tasoitteen koostumus vaikuttaa kuivumiseen. Huokoinen tasoite kuivuu nopeammin. Tasoitteen katsotaan kuivuvan vain yhteen suuntaan.

Taulukko 6 Tasoitepaksuuden vaikutus tasoitteen kuivumiseen.

Tasoitteen paksuuden muutos	
100 %	10 cm --> 15 cm
50 %	15 cm --> 20 cm
30 %	20 cm --> 25 cm
25 %	25 cm --> 30 cm
20 %	30 cm --> 35 cm

Suunnitteluratkaisut

Rakenteen paksuus vaikuttaa merkittävästi kuivumiseen. Rakenteen paksuus on usein määritelty kantavuuksien tai muiden mitoittavien tekijöiden mukaan. Rakenteen paksuus määrää kosteuden kulkeman matkan. Kuivumisajan pitenemisen nyrkkisääntönä on pidetty ”paksuuden kaksinkertaistuessa kuivuminen nelinkertaistuu”. Tutkimuksen mukaan tämä ei pidä paikkaansa. Paksuuden kasvattaminen 10 senttimetrillä 20 senttimetriin, kuivuminen pitenee noin 2,6–3,0-kertaisesti. Paksuuden kasvattaminen 15 senttimetrillä 30 senttimetriin, kuivuminen pitenee noin 2,5-kertaisesti.

Rakenneratkaisu vaikuttaa samalla tavalla kuin rakenteen paksuus. Kosteuden kulkema matka kasvaa yhteen suuntaan kuivuessa. Rakenneratkaisua ohjaa rakennusfysikaaliset ja kantavuuksia mitoittavat tekijät. Rakenneratkaisua ei voi muuttaa merkittävästi työmaaoloissa. Rakenneratkaisun muuttaminen kahteen suuntaan kuivuvasta rakenteesta yhteen suuntaa kuivuvaksi hidastaa kuivumista noin 2,3-kertaisesti. Rakenneratkaisussa

kuorilaatta antoi poikkeavia tuloksia. Torkas-ohjelmassa mitataan 25 % syvyydeltä ja BY 1021-menetelmällä mitataan 20 % syvyydeltä, mikä selittää eroa osakseen.

Pinnoitevalinnoilla voidaan muuttaa suhteellisen kosteuden raja-arvoja. Eri pinnoitteiden raja-arvojen suhteelliset kosteudet voivat vaihdella jopa 30 prosenttiyksikköä. Pinnoitevalinnat ovat usein arkkitehdin tai tilaajan määrittelemänä. Materiaaleja tulisi kehittää, siten että ne kestävät enemmän kosteutta.

Muut muuttujat

Betonin lämpötilan nosto on yksi merkittävimmistä tekijöistä. Betonin lämpötilaa voidaan nostaa esimerkiksi kuivausmatoilla tai lattialämmityksellä. Betonin lämpötilan kohottaminen nostaa huokosten vesihöyryn painetta, joka nopeuttaa kosteutta siirtäviä voimia. Betonin lämpötilaa voidaan kontrolloida työmaalla, sekä suunnitella lattialämmityksen käyttö rakennusaikana. Liian nopea lämpötilan nosto alkuvaiheessa lisää halkeilun riskiä. Lattialämmitystä tulisi käyttää rakennusaikana, jos se on vain mahdollista. Betonin lämpötilan nostolla voidaan nopeuttaa moninkertaisesti betonin kuivuminen.

Hyvällä jälkihoidolla voidaan edistää hydrataation onnistumista. Mitä suurempi hydrataatioaste, sitä enemmän kosteutta on sitoutunut kemiallisesti. Betonin pinnasta tulee hioa liimakerros pois, jotta betoni kuivuu nopeammin. Betonipinta tulee pitää paljaana ja puhtaana pölystä. Betoni kuivuu myös halkeamien kautta. Hallitsematon halkeilu ei ole tarkoituksen mukaista.

Betonin raekokoa muuttamalla voidaan vähentää vedentarvetta. Raekoon muuttamisella voidaan siis vaikuttaa suuresti haihdutettavan veden määrään. Suurella raekoolla voi olla negatiivisia vaikutuksia työstettävyyteen, riippuen valettavasta kohteesta ja pintavaatimuksista. Maksimiraekokoa suurentamalla voidaan BLY 7- ja RTT-menetelmien mukaan lyhentää kuivumisaikaa noin 30–50 prosenttia. Maksimiraekoon muuttaminen 8 millimetristä 32 millimetriin alentaa hintaa noin 15 % kuutiolla. Maksimiraekoon muuttaminen 16 millimetristä 32 millimetriin alentaa hintaa pari prosenttiyksikköä kuutiolla. (Rudus 2013, 5.)

Huokoistamalla voidaan lyhentää kuivumisaikaa. BLY 7- ja RTT-menetelmien mukaan huokoistettuna 8–10 prosenttiin betoni voi kuivua jopa 50–70 % nopeammin.

Huokoistettuna 4–6 prosenttiin kuivumista voidaan lyhentää vähintään 20 %. Huokoistamalla parannetaan työstettävyyttä ja vähennetään veden tarvetta. Kosteus absorboituu huokosiin ja siirtyy nopeammin kohti haihdutettavaa pintaa. Säänkestävät betonit maksavat noin 15 % kuutiolta enemmän kuin normaalit vastaavat betonit. (Rudus 2013, 17.)

NP-betonit eli nopeammin päällystettävät betonit perustuvat alhaiseen vesisideainesuhteeseen ja huokoistamiseen. Ne kuivuvat noin 2–3 kertaa nopeammin kuin vastaavan lujuusluokan normaalit lattiabetonit. NP-betonit maksavat noin 20 % kuutiolta enemmän kuin normaalit lattiabetonit. (Rudus 2013, 14.)

8.2 Menetelmien vertailu

Menetelmien vertailussa oletuksena oli, että menetelmät eivät anna samaa tulosta. Menetelmien korrelaatiota tutkittiin Statistix-ohjelmalla. Korrelaatiossa tarkastellaan kahden menetelmän välisen riippuvuuden astetta. Korrelaatiokertoimen ollessa 0, menetelmien välillä ei ole lineaarista riippuvuutta. Vastaavasti arvolla 1 tai -1 menetelmien välillä on positiivinen tai negatiivinen lineaarinen riippuvuus. Korrelaatiossa otosarvoina käytettiin liitteessä 12 olevia muuttujien arvoja. BLY 7- ja RTT-menetelmiä ei vertailtu Statistix-ohjelmassa, koska puuttuvia arvoja oli noin puolet kaikista arvoista. Puuttuvat arvot vaikuttavat tuloksiin merkittävästi.

Korrelaatiota testattiin kaikilla muuttujien arvoilla. Niitä menetelmiä ja muuttujia, joille ei ole tulosta, ei huomioida korrelaatiolaskussa. Taulukon 7 korrelaatiolaskussa on huomioitu tavoitekosteuden ollessa 90 % 17 muuttujaa. Vastaavasti tavoitekosteudella 85 % on huomioitu 12 muuttujaa. Jokaisessa vertailtavassa muuttujassa on kaikilla menetelmillä oltava arvo, jotta rivi voidaan ottaa otokseen. Menetelmiä joilla ei ole arvoa jollekin muuttujalle, ei oteta huomioon. Esimerkiksi rakenteen paksuuksia 27 cm ja 30 cm ei ole huomioitu, koska Lathund-menetelmässä ei ole arvoa kyseisille muuttujille (liite 12). Tuloksena on saatu suhteellisen kosteuden 85 % arvoilla korrelaatiokertoimeksi yli 0,9948. Tämän perusteella kaikki menetelmät suhteellisen kosteuden arvoilla saavat selitysasteeksi 98,9 % ($r^2 = 0,9948^2$). Tulosta ei voi pitää pätevänä, koska muuttujien kuvaajista (ks. 5 Muuttujien vaikutus) voidaan nähdä, että tulokset poikkeavat toisistaan. Tavoitekosteuden ollessa 90 % korrelaatiokertoimeksi saadaan Torkas ja BY 1021 välille 0,9311. Tätäkään tulosta ei voida pitää luotettavana.

Korrelaatiokertoimien käyttöön liittyy tilastollisia ongelmia. Puuttuvat arvot vaikuttaa kaikkiin muihin korrelaatioihin vinouttaen tuloksia ja vähentää tulosten merkitsevyyttä. Jos muuttujien välillä on epälineaarista yhtäläisyyttä, sen määrä tulee huomattavasti aliarvioiduksi. Korrelaatiokerroin on harhaanjohtava, jos tarkasteltavat muuttujat eivät ole homoskedastisia (Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto 2013.)

Taulukko 7 Korrelaatiokertoimien vertailu eri menetelmien osalta.

Korrelaatiossa vain arvon saaneet muuttujat. Yli 364 päivää = Missing						
Suhteellinen kosteus 90%			Suhteellinen kosteus 85%			
Correlations (Pearson)			Correlations (Pearson)			
	BY90	Torkas90		BY85	Torkas88	Torkas87
Torkas90	0,9311		Torkas88	0,9951		
Lathund90	0,9571	0,9944	Torkas87	0,9956	0,9999	
			Lathund85	0,9996	0,9941	0,9948
Cases Included 17 Missing Cases 8			Cases Included 12 Missing Cases 13			

Taulukko 8 Torkas- ja BY 1021-menetelmien välisten muuttujien erotukset päivinä ja prosenttiyksikköinä.

Muuttuja	Torkas 90%	BY 1021 90%	Erotus	Erotus %	Torkas 88 %	BY 1021 85 %	Erotus	Erotus %
Lämpötila 10°C	73	77	-4	5 %	159	149	10	-7 %
Lämpötila 18°C	53	57	-4	7 %	111	112	-1	1 %
Lämpötila 25°C	38	45	-7	16 %	78	87	-9	10 %
Lämpötila 30°C	29	38	-9	24 %	60	75	-15	20 %
Paksuus 20 cm	36	38	-2	5 %	75	73	2	-3 %
Paksuus 25 cm	48	54	-6	11 %	101	105	-4	4 %
Paksuus 27 cm	53	57	-4	7 %	111	112	-1	1 %
Paksuus 30 cm	60	70	-10	14 %	126	136	-10	7 %
Ympäristön RH 35 %	53	51	2	-4 %	111	99	12	-12 %
Ympäristön RH 50 %	53	57	-4	7 %	111	112	-1	1 %
Ympäristön RH 60 %	53	64	-11	17 %	111	124	-13	10 %
Ympäristön RH 70 %	55	70	-15	21 %	118	137	-19	14 %
Ympäristön RH 80 %	56	77	-21	27 %	126	149	-23	15 %
MV+EP550mm, A=40%	132	136	-4	3 %	268	231	37	-16 %
KL50mm, A=25%	82	60	22	-36 %	169	103	66	-64 %
VP 1-SUUNTAAN, A=40%	119	132	-13	10 %	250	264	-14	5 %
VP 2-SUUNTAAN, A=20%	53	57	-4	8 %	111	112	-1	1 %
V/S 0,4	12	54	-42	78 %	28	50	-22	44 %
V/S 0,5	53	57	-4	7 %	111	112	-1	1 %
V/S 0,6	103	80	23	-29 %	283	157	126	-80 %
V/S 0,7	220	115	105	-91 %	-	224	-	-
V/S 0,7; 2 vko kosteassa	229	144	85	-59 %	-	-	-	-
V/S 0,7; 2 vko sateessa	266	215	51	-24 %	-	-	-	-
V/S 0,5; 2 vko kosteassa	61	64	-3	5 %	121	124	-3	2 %
V/S 0,5; 2 vko sateessa	92	77	15	-19 %	162	149	13	-9 %

Taulukossa 8 on avattu Torkas- ja BY 1021-menetelmien yhtäläisyyttä. Tavoitekosteu- den ollessa 90 % Torkas- ja BY 1021-menetelmät näyttivät hyvin samanlaisia tuloksia. Vesi-sideainesuhteen ollessa 0,5 tulokset ovat melkein samat. Alemmalla tai ylemmällä vesi-sideainesuhteella tulokset poikkeavat merkittävästi. Vesi-sideainesuhteen ollessa 0,7 lisäkastuminen näyttää poikkeavia tuloksia. Torkas-ohjelmalla ei saatu tuloksia 85 % tavoitekosteu- delle, koska vuosi ei riittänyt kuivumiseen ja siten valideihin tuloksiin.

Torkas- ja BY 1021-menetelmien vesi-sideainesuhde 0,5 näytti hyvin yhtäläisiä lukemia. Muilla vesi-sideainesuhteilla tulokset poikkesivat merkittävästi. Sateen vaikutus 0,5 vesi-sementtisuhteella oli yhtenevä molemmilla menetelmillä. Case-kohteen betonien vesi-sideainesuhteet olivat 0,48–0,55, joten tulosten voidaan katsoa yhtenevän kyseisellä välillä. BY 1021-menetelmä näytti lähes aina suurempia lukemia kuin Torkas-ohjelma.

Torkas-ohjelmassa on mittausepävarmuus 2–3 prosenttiyksikön luokkaa. Kaikkien menetelmien kuivumisarvot on esitetty liitteessä 12. Liitteessä on kaksi lähinnä toisiaan olevaa arvoa merkitty vihreällä, tavoitekosteuksien ollessa 90 % ja 85 %. Torkas 85 % suhteellista kosteutta ei tulisi käyttää arvioitaessa 85 % suhteellista kosteutta.

8.3 Vuodenajan vaikutus

Vuodenajan vertailussa määriteltiin tarkastelulle raja-arvoja ja oletuksia. Lämmitystä käytettiin 1.10–31.3 aikana. Lämmityskaudella lämpötilan arvioitiin olevan 18 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Työmaaoloissa lämpötilat ja suhteellinen kosteus vaihtelevat, eivätkä arvot ole tasaisia. Rakenne ajateltiin olevan tiivis, kun rakenteen päällä oli neljä kerrosta tai vesikatto. Rakenteet olivat sateelle alttiina 4–9 viikkoa. Elementtejä säilytettiin valusta seitsemän ensimmäistä päivää 18 °C ja suhteellisen kosteuden ollessa 50 %, jonka jälkeen ne olivat neljä viikkoa ulkoilmassa. Vertailun helpottamiseksi valittiin NP-betonia vastaava vesi-sideainesuhde 0,58. Vesi-sideainesuhteella 0,7 ei olisi päässyt helposti vertailtaviin tuloksiin. Suuremmalla vesi-sideainesuhteella lisäkastuminen vaikuttaa enemmän. Tarkasteltaviksi kohteiksi valittiin liitteen 7 mukaisesti lyhimät kuivumisaajat. Ylimmällä kerroksella oli lyhin kuivumisaika. Tutkimuksessa tarkasteltiin yleisemmin käytettyä kololaattaa, koska tekniikkalaaatit eivät ole vielä kovin yleisiä.

YIT rakentaa normaalin elementtivalmisteisen yksiportaisen kerrostalon 11 kuukaudessa. Liitteessä 7 on mallissa käytetyn kerrostalon yleisaikataulu ja liitteessä 8 on valujen, tiivistysten ja lämmityksen viikkokierrot. Aloitussajankohtia vertailtiin niin, että jokaisen kuukauden alussa työmaa alkoi ja loppui 11 kuukauden päästä. Mallissa ei huomioitu kesälomia eikä pyhäpäiviä. Mallinnuskuukausi alkoi jokaisen kuukauden ensimmäisenä päivänä.

Työmaan epäedulliseksi aloitusajankohdaksi betonin kuivumisen kannalta saatiin aika maaliskuusta kesäkuuhun (liite 9). Kuorilaatan kohdalla betonin kuivuminen maaliskuussa aloitettuna kestää 63 % kauemmin kuin elokuussa aloitettuna. Elementissä maal- ja huhtikuussa aloitetulla työmaalla betoni kuivui myös 63 % hitaammin, kuin marraskuussa aloitettu. Maanvastaisessa rakenteessa kesäkuussa aloitetulla työmaalla betoni kuivui lähes kaksi kertaa niin kauan, kuin huhtikuussa aloitettu.

Taulukon 9 mukaan kuorilaatta ja elementti eivät täsmää maanvastaisen rakenteen kanssa. Maanvastaisia rakenteita on kerrostalossa huomattavasti vähemmän kuin kuorilaatta,- tai elementtirakenteita. Pohjakerrosta tulee lämmittää enemmän tai pinnoittaa myöhemmin. Toisaalta pohjakerros tehdään viimeisenä, koska ei ole tarkoituksen mukaista kulkea valmiin pinnan läpi.

Taulukko 9 Työmaan aloituskuukauden vaikutus rakenteiden kuivumiseen. Tavoite-kosteus 90 %. Lyhin kesto eli indeksikuukausi on merkitty vihreällä % sarakkeessa.

Kuorilaatta	kesto (pv)	%	Elementti	kesto (pv)	%	Maanvastainen	kesto (pv)	%
Tammikuu	92	1,00	Tammikuu	97	1,13	Tammikuu	141	1,21
Helmikuu	96	1,04	Helmikuu	89	1,03	Helmikuu	127	1,09
Maaliskuu	150	1,63	Maaliskuu	140	1,63	Maaliskuu	119	1,02
Huhtikuu	129	1,40	Huhtikuu	140	1,63	Huhtikuu	117	1,00
Toukokuu	119	1,29	Toukokuu	116	1,35	Toukokuu	145	1,24
Kesäkuu	109	1,18	Kesäkuu	118	1,37	Kesäkuu	230	1,97
Heinäkuu	99	1,08	Heinäkuu	106	1,23	Heinäkuu	168	1,44
Elokuu	92	1,00	Elokuu	96	1,12	Elokuu	163	1,39
Syyskuu	93	1,01	Syyskuu	93	1,08	Syyskuu	144	1,23
Lokakuu	105	1,14	Lokakuu	91	1,06	Lokakuu	119	1,02
Marraskuu	109	1,18	Marraskuu	86	1,00	Marraskuu	118	1,01
Joulukuu	108	1,17	Joulukuu	101	1,17	Joulukuu	131	1,12

Liitteessä 9 ilmenee selvästi, että betonin kuivumiselle epäedulliset kuukaudet ajoittuvat kaikki samalle aikavälille rakenteesta riippumatta. Aikaväli kesäkuun alusta lokakuun loppuun on betonin kuivumisen kannalta huonoa aikaa. Kesä-elokuussa rakenteen ja ympäristön välinen vesihöyryn paine-ero on niin pieni, että kuivumista ei juuri tapahdu. Rakenne absorboi kosteutta, jos ympäristön vesihöyryn osapaine on suurempi kuin rakenteen huokosilman vesihöyryn osapaine. Tutkimusten olettamusten ja mallin mukaan rakenteet eivät aina ehdi kuivua tavoitekosteuteen kaikilla vuodenaajoilla 11 kuukaudes-
sa. Kohdassa johtopäätökset selvitetään asiaa tarkemmin.

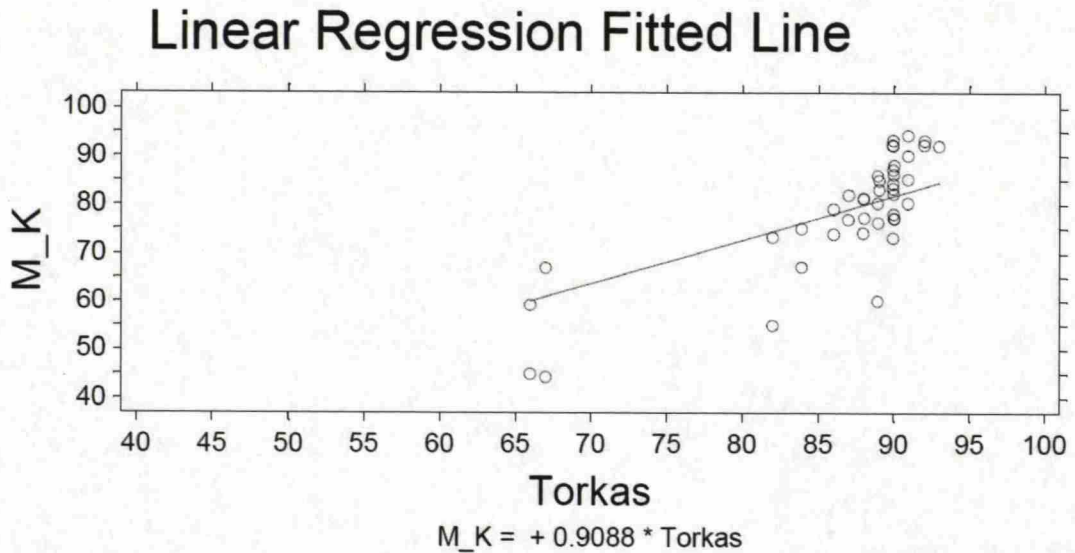
8.4 Laskennalliset kuivumisajat

Laskennallisia kuivumisaikoja verrattiin työmaalla mitattuihin arvoihin. Väliseinien analysoitaviksi arvoiksi valittiin vesi-sideainesuhteen 0,64 antamat arvot (liite 14). Mitatut suhteelliset kosteudet poikkesivat lasketuista arvoista -29...+2,9 % RH (taulukko 13). Mitatut arvot poikkesivat merkittävästi. Tilastollista merkittävyyttä testattiin Statistix-ohjelmalla. Tilastollisessa tarkastelussa verrattiin mitattua ja lämpötilakorjattua lukemaa Torkas-ohjelman suhteelliseen kosteuteen. Torkas-ohjelman ilmoittaman mittausepävarmuuden (-2...-3 % RH) vuoksi testattiin vähentämällä lasketusta tuloksesta -2 ja -3 % RH. Alle 20 °C lämpötilalla suhteellinen kosteus kasvaa 0,5 % / 1 °C. Mitatut tulokset olivat korjattu lämpötilan aiheuttamalla muutoksella.

Korrelaatiokertoimien mukaan, mallin selitysasteeksi saatiin yli 99,0 % (0,9951²). Kuvassa 57 on tarkasteltu lineaarista riippuvuutta mitattujen ja Torkas-ohjelman tuloksia. Regressiosuora esittää muuttujien välisen yhteyden voimakkuuden. Mitä lähempänä vaakatasoa suora on, sitä vähemmän muuttujilla on yhteyttä toisiinsa. Täydellisessä riippuvuudessa molempien muuttujien havainnot ovat regressioviivalla ja viiva noin 45° kulmassa. Kuvan 57 mukaan mitatulla ja Torkas-ohjelman arvoilla näyttäisi olevan vahva positiivinen korrelaatio.

Taulukko 10 Työmaalla mitattujen ja laskennallisten arvojen välinen korrelaatio.

Correlations (Pearson)				
	Mitattu+korjattu	Torkas	Torkas -2%	Torkas -3%
Torkas	0,9951			
Torkas -2%	0,9952	1,0000		
Torkas -3%	0,9952	1,0000	1,0000	
Mitattu	1,0000	0,9949	0,9950	0,9950
Cases Included 42 Missing Cases 0				



Kuva 57 Mitattujen (+lämpötilakorjattujen) arvojen lineaarinen riippuvuus Torkas-ohjelman arvoihin.

Alapohjarakenteista saatiin viisi mittaustulosta. Mittaustulokset poikkesivat -6,7...-21,1 % RH. Mittaustulokset poikkesivat sitä enemmän, mitä lähempänä pintaa mittaus oli tehty. Väliseinäelementeistä mittaustuloksia saatiin 12 kappaletta. Poikkeavimman tuloksen antoi mittaus, joka oli mitattu 10 % syvyydeltä. Väliseinistä yhdeksän tulosta poikkesi vain $\pm 3,1$ % RH. Välipohjien osalta tulokset vaihtelivat -29...+0,4 % RH. Välipohjien suurille poikkeamille ei löytynyt yhteistä selittäjää.

Tilastoissa on muutamia poikkeuksia. Neljä mittauspistettä näytti yli 20 prosenttiyksikön poikkeamaa. Näiden suhteellinen kosteus oli 44–60 %. Mitään yhteistä tekijää ei ole havaittavissa. Tuloksia voidaan pitää virheellisinä. Tuloksista 11 kappaletta näytti 10–20 % RH poikkeamaa. Näitä arvoja yhdisti mitattu suhteellinen kosteus. Näsissä kaikissa mitattu suhteellinen kosteus oli alle 80 %.

Kaikkien mitattujen arvojen ja laskettujen arvojen huomattavalle eroavaisuudelle ei löydetty kuin yksi yhteinen tekijä. Mitä suurempi oli mitattu arvo, sitä lähempänä oli Torkas-ohjelman tulos. Taulukon 13 mukaan Torkas-ohjelman vaihteluväli oli -10,5...+2,6 % RH, kun mitattu suhteellinen kosteus on välillä 80–95 %. Torkas-ohjelman vaihteluväli on -4,2...+2,6 % RH, kun mitattu suhteellinen kosteus on välillä 85–95 %. Vaihteluvälitarkasteluissa ei käytetty mittaepätarkkuuksien arvoja (Torkas -3...-2 %). Kaikista ohjelman tuloksista noin 33 % oli ± 5 % RH sisällä. Betonin kuivu-

misen arvioinnin kannalta ei ole merkitystä, jos mitatuilla arvoilla voidaan selittää Torkas-ohjelman tuloksia. Torkas-ohjelman tulosten perusteella pitäisi pystyä selittämään todellinen kuivuminen. Kyseistä yhteyttä ei löytynyt taulukon 13 perusteella.

Kaikista mitatuista arvoista 11 kappaletta voitiin verrata BY 1021-, Lathund- ja Torkas-menetelmillä (taulukko 11). Muut arvot olivat mitattu vertailukelvottomalta syvyydeltä. Mitatut arvot olivat 20 % syvyydeltä kahteen suuntaan kuivuvan rakenteen paksuudesta. Taulukossa 11 verrattiin Torkas-, BY 1021- ja Lathund-menetelmien arvioituja kestoja verrattuna päiviä valusta. Vihreä väri osoittaa saavutettua tavoitekosteutta tai mahdollista toteutumista. Punainen väri osoittaa, että tavoitekosteutta ei voi saavuttaa kyseisillä kuivumisajoilla.

Taulukon 11 perusteella voidaan todeta, että Lathund-menetelmää ei voi pitää luotettavana työkaluna betonin kuivumisen arvioinnissa. Tavoitekosteutta 90 % ei voi saavuttaa kyseisillä kuivumisajoilla. Tavoitekosteus 85 % on mahdollista saavuttaa väliseinien kohdalla, mutta se on hyvin epätodennäköistä. Torkas-ohjelma näytti väliseinäelementin VP4317 tuloksen suuremmaksi kuin mitattu suhteellinen kosteus. Kahteen suuntaan kuivuissa välipohjissa Torkas-ohjelma näytti suurempaa suhteellista kosteutta kuin mitattu suhteellinen kosteus. Väliseinien kohdalla Torkas-ohjelma näyttää hyvin samaa tulosta kuin mitattu suhteellinen kosteus. Torkas-ohjelman suhteelliset kosteudet olivat vaakarakenteiden osalta aina tavoitekosteuden alapuolella. Pystyrakenteiden osalta Torkas-ohjelman tulokset näyttivät hyvin lähelle työmaalla mitattua arvoa. Näyttäisi siltä, että pystyrakenteen kuivuvat hitaammin kuin vaakarakenteet. BY 1021-menetelmällä kaikki taulukon 11 mukaiset kuivumisajat ovat mahdollisia tai toteutuneita kyseisillä kuivumisajoilla. BY 1021-menetelmän kuivumisajoilla oltiin aina tavoitekosteuden alapuolella. Kaikki Torkas-ohjelman kuivumisajat olivat pidemmät kuin BY 1021-menetelmällä.

Taulukko 11 Suhteellisen kosteuden toteutuman mahdollisuus eri menetelmillä tavoitekosteuden ollessa 90 % ja 85 %. Vihreä väri osoittaa saavutettua tavoitekosteutta tai mahdollista toteutumista. Punainen väri osoittaa, että tavoitekosteutta ei voi saavuttaa kyseisillä kuivumisajoilla.

Rakenne	Elementti	V/S	Päiviä valusta	Syvyys mm	Korjattu RH	Torkas RH %	Torkas 90 %	BY1021 90 %	BY1021 85%	Lathund 90%	Lathund 85%
VP	T237	0,52	171	54	76,0	89,4	147	112	218	68	138
VP	T237	0,52	171	70	82,0	90,3	195	112	218	68	138
VP	T231	0,52	180	54	77,0	89,8	171	112	218	68	138
VP	T231	0,52	180	70	80,0	90,5	213	112	218	68	138
VP	T251	0,48	167	54	81,0	88,3	78	88	172	54	110
VP	T251	0,48	167	70	86,0	89,2	120	88	172	54	110
VP	T272	0,51	135	54	84,5	89,4	109	107	208	65	130
VP	T272	0,51	135	70	87,5	90,4	156	107	208	65	110
VS	VP4317	0,64	145	40	93,0	92,1	217	205	399	126	250
VS	VP5304	0,64	138	40	91,5	92,3	218	205	399	126	250
VS	VP5317	0,64	144	40	91,5	92,5	228	205	399	126	250

Taulukon 11 menetelmien välistä korrelaatiota tutkittiin tavoitekosteuden ollessa 90 %. Taulukon 11 lukujen mukaan näyttää siltä, että Torkas 90 % ja BY 1021 90 % ovat lähellä toisiaan. Statistix-ohjelmalla laskettu korrelaatio on esitetty taulukossa 12. Korrelaatiotaulukon mukaan Lathund 90 % ja BY 1021 90 % näyttää täydellistä korrelaatiota. Tulos on odottamaton. Korrelaatiotulosten mukaan ei voida määritellä menetelmien välistä paremmuutta. Taulukon 11 värikoodien mukaan voidaan todeta BY 1021-menetelmän olevan tavoitekosteuden alapuolella sekä näyttävän alhaisimmat kestot. Lathund-menetelmällä tavoitekosteuksia ei saavutettu.

Taulukko 12 Laskennallisten päivien korrelaatio tavoitekosteuden ollessa 90 %. Luvut on saatu taulukosta 11.

Correlations (Pearson)		
	BY 1021 90 %	Torkas 90 %
Torkas 90 %	0,9771	
Lathund 90 %	1,0000	0,9762
Cases Included 11 Missing cases 0		

Lähes kaikki työmaalla mitatut suhteelliset kosteudet alittivat 90 % tavoitekosteuden kolmea poikkeusta lukuun ottamatta. Nämä kolme mittaustulosta ylittivät tavoitekosteuden +3 % RH. Mitatut kohteet sijaitsivat neljännessä ja viidennessä kerroksessa. Kyseinen tavoitekosteus oli kriittinen kylpyhuoneiden vesieristysten aloitusten kannalta. Vedeneristys aloitettiin ensimmäisestä kerroksesta, joten ylemmille kerroksille jäi vielä kuivumisaikaa. Lattioihin oli määritetty 85 % suhteellinen kosteus ja 75 % suhteellinen

kosteus 1–3 cm syvyydeltä. Taulukon 11 arvoista kaksi lattiasta mitattua tulosta ylitti 85 % tavoitekosteuden. Ennen lattiamattojen asennusta kuivumisaikaa jäi viimeisimmästä mittauksesta noin kuukausi. On mahdollista että, mitatut lattiat ehtivät kuivua kuukaudessa tavoitekosteuteen 85 %.

Ulkoseinärakennetta mallinnettiin käyttämällä maanvastaista rakennetta. Ulkoseinä kuivuu osittain ulospäin, riippuen siitä, mitä eristemateriaalia on käytetty (Ormiskangas 2009, 112). Ulkoseinärakenteesta oli kaksi mittauspistettä, mutta vain yksi validi tulos. Torkas-ohjelman tulos poikkeaa mitatusta arvosta 9,1 % RH. Yhden mittaustuloksen perusteella ei voida sanoa, voiko maanvastaista rakennetta käyttää ulkoseinää mallinnettaessa.

Taulukko 13 Työmaalla mitatut arvot verrattuna Torkas-ohjelman laskennallisiin tuloksiin. Taulukko on järjestetty erotuksen mukaan. Väliseinärakenteiden vesi-sideainesuhteena on käytetty 0,64.

Järjestys nro	Rakenne	Mittaus päivä	Mittaus nro:t	Elementti	V/S	Päiviä valusta	Lattiatasoite	Syvyys %	Syvyys mm	Mittattu RH	Mittattu T	Korjattu RH	Torkas RH %	Erotus
41	VS	4.3.	77,59,31	VP5317	0,64	123		13 %	25	90	14	93,0	90,1	2,9
36	VS	4.3.	68,50,22	VP4304	0,64	133		13 %	25	91	15	93,5	90,9	2,6
37	VS	4.3.	71,53,25	VP4317	0,64	124		13 %	25	88	13	91,5	89,6	1,9
39	VS	4.3.	74,56,28	VP5304	0,64	117		13 %	25	89	15	91,5	89,9	1,6
38	VS	25.3.	86	VP4317	0,64	145		20 %	40	90	14	93,0	92,1	0,9
27	VP	4.3.	75,57,29	T272	0,51	114	29.1.	6 %	15	64	14	67,0	66,6	0,4
40	VS	25.3.	85	VP5304	0,64	138		20 %	40	88	13	91,5	92,3	-0,8
42	VS	25.3.	87	VP5317	0,64	144		20 %	40	89	15	91,5	92,5	-1,0
35	VS	4.3.	65, 47,19	VP3327	0,64	146		13 %	25	87	15	89,5	90,8	-1,3
30	VP	25.3.	84	T272	0,51	135	29.1.	26 %	70	85	15	87,5	90,4	-2,9
34	VS	4.3.	62, 41	VPXXXX	0,64	153		13 %	25	85	16	87,0	90,1	-3,1
24	VP	25.3.	82	T251	0,48	167	29.1.	26 %	70	83	14	86,0	89,2	-3,2
14	VP	4.3.	64, 46,18	T231	0,52	159	17.1.	17 %	45	83	15	85,5	89,7	-4,2
29	VP	25.3.	83	T272	0,51	135	29.1.	20 %	54	82	15	84,5	89,4	-4,9
22	VP	4.3.	70,52,24	T251	0,48	146	29.1.	15 %	40	79	15	81,5	87,3	-5,8
10	VP	25.2.	43,14,15	T237	0,52	143	17.1.	15 %	40	80	15	82,5	88,9	-6,4
28	VP	4.3.	76,58,30	T272	0,51	114	29.1.	13 %	35	78	14	81,0	87,7	-6,7
3	AP	25.2.	34	ET201	0,54	172	17.1.	26 %	70	82	15	84,5	91,2	-6,7
5	AP	24.1.	3	ET206	0,52	140	29.1.	20 %	54	81	15	83,5	90,4	-6,9
13	VP	4.3.	63, 45,17	T231	0,52	159	17.1.	9 %	25	76	15	78,5	85,7	-7,2
23	VP	25.3.	81	T251	0,48	167	29.1.	20 %	54	78	14	81,0	88,3	-7,3
25	VP	4.3.	72,54,26	T278	0,55	115	29.1.	6 %	15	56	15	58,5	65,9	-7,4
18	VP	4.3.	76_2, 61,40, 12	T209	0,52	193	29.1.	26 %	70	80	14	83	90,5	-7,5
12	VP	25.3.	80	T237	0,52	171	17.1.	26 %	70	79	14	82,0	90,3	-8,3
6	US	25.2.	35, 6	SX1302	0,55	165		17 %	25	72	15	74,5	83,6	-9,1
21	VP	4.3.	69,51,23	T251	0,48	146	29.1.	7 %	20	70	15	72,5	82,1	-9,6
26	VP	4.3.	73,55,27	T278	0,55	115	29.1.	13 %	35	77	15	79,5	89,4	-9,9
16	VP	25.3.	78	T231	0,52	180	17.1.	26 %	70	77	14	80,0	90,5	-10,5
20	VP	4.3.	67,49,21	T257	0,50	139	29.1.	15 %	40	75	16	77,0	87,7	-10,7
2	AP	25.2.	33, 5	ET201	0,54	172	17.1.	13 %	35	74	15	76,5	87,4	-10,9
17	VP	4.3.	75_2, 60,39, 11	T209	0,52	193	17.1.	20 %	54	75	14	78	89,6	-11,6
4	AP	24.1.	2	ET206	0,52	140	29.1.	10 %	28	71	15	73,5	85,7	-12,2
15	VP	25.3.	77	T231	0,52	180	17.1.	20 %	54	74	14	77,0	89,8	-12,8
11	VP	25.3.	79	T237	0,52	171	17.1.	20 %	54	73	14	76,0	89,4	-13,4
33	VS	25.2.	44, 16	VP3302	0,64	143		13 %	25	74	15	76,5	90,1	-13,6
8	VP	25.2.	37, 8,9	T217	0,53	153	17.1.	13 %	35	72	16	74,0	88,5	-14,5
32	VS	25.2.	38, 10	VP2304	0,64	153		13 %	25	71	16	73,0	90,4	-17,4
9	VP	25.2.	42, 13	T237	0,52	143	17.1.	7 %	20	64	15	66,5	84,0	-17,5
1	AP	25.2.	32, 4	ET201	0,54	172	17.1.	6 %	15	42	15	44,5	65,6	-21,1
7	VP	25.2.	36, 7	T217	0,53	153		6 %	15	42	16	44,0	66,9	-22,9
19	VP	4.3.	66,48,20	T257	0,50	139	29.1.	7 %	20	52	15	54,5	82,3	-27,8
31	VS	24.1.	1	V1304	0,64	133	29.1.	10 %	20	58	17	59,5	88,5	-29,0

8.5 Johtopäätökset

Betonin kuivumiselle ei ole yleisesti hyväksyttyä kaavaa. Kuivumiseen vaikuttaa monta muuttujaa. Muuttujat, kuten suhteellinen kosteus ja vesihöyrynläpäisevyys, muuttuvat ajan funktiona. Muuttujat ovat kytköksissä toisiinsa. Yhden muuttujan muuttuminen ajan funktiona muuttaa myös muita muuttujia.

Muuttujille saatiin taulukoitua kertoimet muuttujan eri arvoille. Yksittäisen muuttujan kertominen antaa kertoimen mukaisen tuloksen. Arviodun keston kertominen usealla kertoimella muuttaa lopullista arviota sitä enemmän, mitä enemmän kertoimia on. Kuivumisaika vääristyy. Tutkimuksen menetelmävertailun mukaan betonin kuivumista voidaan nopeuttaa seuraavilla keinoilla:

- alentamalla vesi-sideainesuhdetta
- estämällä rakenteen uudelleen kastuminen
- luomalla ympäristölle hyvät kuivumisolosuhteet
 - betonille epäedulliset kuivumiskuukaudet ovat kesäkuusta lokakuuhun
- lujuuden / sementin määrää nostamalla
- rakenteen paksuutta ohentamalla tai rakenneratkaisua muuttamalla

Tutkimuksen mukaan betonin paksuuden kaksinkertaistuessa kuivumisaika ei nelinkertaistu. Paksuuden kaksinkertaistuessa kuivumisaika pitenee noin 2,5–3-kertaisesti. Rakenneratkaisun muututtua kahteen suuntaan kuivuvasta yhteen suuntaan kuivuvaksi, muuttuu kuivumisaika noin 2,3-kertaiseksi.

Vuodenajan vaikutuksen vertailussa käytettiin olettamuksia ja rajattua mallia. Vuodenajasta riippuen tavoitekosteutta ei saavutettu kaikille testatuille rakenteille. Mitatut ja laskennalliset tulokset poikkesivat jopa 29 % RH. Monet tulokset olivat tavoitekosteu- den alapuolella. On todennäköistä, että rakenteet ehtivät kuivua 11 kuukaudessa tavoite- tekosteuteen. Vuodenajan vaikutus huonoimmasta epäedullisimpaan ei välttämättä pi- dennä kuorilaatan ja elementin kuivumisaikaa 63 %. Vuodenajan vaikutus on suuntaa antava ja kertoo kuivumis- ja kastumispotentiaalista vuodenaikojen mukaan. Jos 11 kuukautta kestävä kerrostalon rakennusprojekti aloitetaan maali-kesäkuussa, tulisi beto- nin kosteusmittauksiin, betonivalintoihin ja ympäristön olosuhteisiin kiinnittää erityistä huomiota.

Muuttujien vaikutuskertoimet ja vuodenajan vaikutus perustuvat Torkas-ohjelmasta saatuihin tuloksiin. Noin 67 % kaikista Torkas-ohjelman tuloksista näytti poikkeavan ± 5 % RH mitatuista tuloksista. Porareikä-mittausmenetelmän tarkkuus on ± 5 % RH, johon voidaan lukea mukaan Torkas-ohjelman mittaepävarmuus $-2...-3$ % RH. Voidaanko vaikutuskertoimia ja vuodenajan vaikutusta pitää luotettavana tietona? Vaikutuskertoimia voidaan verrata BY1021-menetelmään ja todeta niiden olevan jokseenkin samansuuntaisia. Vuodenajan vaikutus perustuu lämpötiloihin ja suhteelliseen kosteuteen.

Lathund- ja RTT-menetelmiä ei tulisi käyttää betonin kuivumisen arvioinnissa. RTT-menetelmässä oli suppeat testausmahdollisuudet. Lathund-menetelmässä saatiin vertailevia tuloksia. Yksittäiset muuttujan tulokset poikkesivat toisistaan merkittävästi. Laskennallisten ja mitattujen suhteellisten kosteuksien kestoissa kuivumisaajat olivat liian lyhyet. BLY 7-menetelmässä on vain maanvastaiselle rakenteelle kuivumisaika-arvio. BLY 7-menetelmä poikkesi yli 200 päivää rakenneratkaisun tarkastelussa. Suuri poikkeama muihin menetelmiin kertoo menetelmän epätarkkuudesta. BLY 7-menetelmälle ei saatu vertailevia työmaamittauksia.

Torkas-ohjelma näyttää suurempaa suhteellista kosteutta kuin mitattu kahteen suuntaan kuivuvien välipohjien tapauksissa. Näissä tapauksissa Torkas-ohjelman arvioitu kesto on aina tavoitekosteuden alapuolella. Kahteen suuntaa kuivuvien väliseinien kohdalla on hyvin mahdollista, että Torkas-ohjelma näyttää samaa lukemaa kuin mitattu suhteellinen kosteus. Torkas-ohjelmaa käytettäessä tulee huomioda mittaepätarkkuus. Torkas-ohjelman tuloksista 67 % poikkesi mitatuista arvoista yli ± 5 % RH. Torkas-ohjelman vaihteluväli on $-4,2...+2,6$ % RH, kun mitattu suhteellinen kosteus on välillä 85–95 %. Betonin kuivumisen arvioinnin kannalta ei ole merkitystä, jos mitatuilla tuloksilla voidaan selittää Torkas-ohjelman tuloksia. Torkas-ohjelmalla on voitu saada laboratorioolosuhteissa hyvinkin tarkkoja tuloksia, mutta työmaaoiloissa se ei ole riittävän tarkka ja yksinkertainen työkalu.

BY 1021-menetelmä on suuntaa antava. Kaikissa testatuissa tapauksissa BY 1021 oli aina tavoitekosteuden alapuolella. BY 1021-menetelmä on Torkas-ohjelmaa tarkempi ja helpokäyttöisempi. BY 1021-menetelmän kuivumisaajat olivat aina lyhyemmät ja näyttivät lähemmäs todellisuutta, kuin Torkas-ohjelman kuivumisaika-arviot. Tutkimuksessa voidaan todeta, että BY 1021-menetelmä sopii työmaaoiloihin.”

Korrelaatiotarkasteluissa ei saatu tilastollisesti merkitsevästi poikkeavia tuloksia millään merkitsevyystasolla. Kaikissa korrelaation testauksissa korrelaatiokertoimeksi saatiin reilusti yli 0,90. Tilastollista yhteneväisyyttä tulisi testata jollain muulla tilastollisella menetelmällä. Korrelaation testaus tutkimuksen arvoilla ei tuonut lisäarvoa tutkimukseen. Yksittäisen muuttujan korrelaatiovertailussa olisi voitu saada tilastollisesti merkitäviä tuloksia. Yhteneväisyydet on nähtävissä kohdan 5 Muuttujien vaikutus kuvaajista.

Tutkimuksen mukaan Energiatalo Onnelapolun rakenteet olivat saavuttaneet tavoitekosteuksen ennen seuraavaa työvaihetta. Muutama mittaustulos oli maksimissaan 3 % RH tavoitteellista suhteellista kosteutta korkeampi. Kyseiset kohteet sijaitsivat ylemmissä kerroksissa, joten kuivumisaikaa jäi noin kuukausi ennen pinnoittamista.

Tutkimuksessa saavutettiin kaikki asetetut tavoitteet. Tutkimuksessa päädyttiin samaan johtopäätökseen kuin monissa muissa aikaisemmissa tutkimuksissa ja ohjeissa. Suhteellinen kosteus tulee aina mitata työmaalla, arviointimenetelmät ovat suuntaa-antavia.

8.6 Luotettavuus ja jatkotutkimukset

Luotettavuus

Tutkimuksessa asetettiin betonin kuivumisen mallinnuksille oletuksia ja raja-arvoja. Ne pyrittiin asettamaan totuudenmukaisesti tai viitaten todennettavaan lähteeseen. Sisäilman kosteus- ja lämpömittarille ei löytynyt kalibroitipäivämäärää. Sisäilman lämpötiloja ja suhteellisia kosteuksia jouduttiin arvioimaan lämmityksen aloituksesta pari kuukautta. Rakenne katsottiin tiiviiksi, kun kuivuvan rakenteen yläpuolella oli kaksi kerrosta valmiina. Käytetty ulkoilma oli sateisin 50 vuoteen. Cramon porareikämittaussuomenen tarkkuus on ± 5 % RH. Taulukkopohjaisten menetelmien väliarvoja interpoloitiin ja ekstrapoloitiin. Menetelmissä ei ollut mahdollista testata kaikkia muuttujia.

Muuttujien vaikutuskertoimet ja vuodenajan vaikutus perustuu Torkas-ohjelmasta saatuihin tuloksiin. Noin 67 % Torkas-ohjelman tuloksista näytti poikkeavan ± 5 % RH mitatuista tuloksista. Voidaanko vaikutuskertoimia ja vuodenajan vaikutusta pitää luotettavana tietona? Vaikutuskertoimet ovat hyvin lähellä BY 1021-menetelmän kertoimia. Vuodenajan vaikutus antaa suuntaa kuivumis- ja kastumispotentialille vuodenajojen mukaan.

Jatkotutkimukset

Väliseinäelementtien mitatut suhteelliset kosteudet olivat lähempänä laskennallisia arvoja kuin vaakarakenteilla. Työmaalla mitattujen tulosten perusteella kahteen suuntaan kuivuva pystyrakenne kuivuu hitaammin kuin vaakarakenne. Olisi mielenkiintoista tutkia vaikuttaako painovoima pystyrakenteiden kuivumiseen? Tai onko pystyrakenteen yläosassa suhteellinen kosteus matalampi kuin rakenteen alaosassa?

Matalaenergiarakenteiden ja uusien eristemateriaalien myötä ulkoseinän kuivuminen muuttuu. Ulkoseinää mallinnettiin maanvastaisena rakenteena. Ulkoseinälle ei ole varsinaisesti arviointia missään kuivumisen arviointimenetelmässä. Ulkoseinä toimii rakennusfysikaalisesti eri tavalla, kuin maanvastainen rakenne. Tutkimuksessa saatiin ulkoseinälle vain yksi mittaustulos, jonka laskennallinen arvo poikkesi mitatusta arvosta noin 9 % RH. Tämän perusteella ei voi sanoa, onko maanvastaisen rakenteen käyttö ulkoseinän mallintamiselle hyväksyttyä. Ulkoseinärakenteille tulisi kehittää betonin kuivumisen arviointityökalu.

9 Yhteenveto

Betonialustan tulee kuivua määrättyyn suhteelliseen kosteuteen ennen päällystämistä. Liian aikaisesta päällystämisestä voi koitua sisäilman ongelmia. YIT rakentaa normaalin kerrostalon noin 11 kuukaudessa. Riittääkö rakennusaika niin, että betonirakenteet ovat riittävän kuivat päällystystyön alkaessa? Tavoitteena oli tunnistaa betonin kuivumiseen vaikuttavat muuttujat, määritellä vuodenajan vaikutus kuivumiseen, sekä arvioida case-kohteen kuivumisajat käytettävissä olevilla arviointimenetelmillä. Tutkimus rajattiin case-kohteen rakenteisiin, sekä menetelmien muuttujavalintoihin.

Tutkimuksen menetelminä käytettiin erilaisia taulukko- ja tietokonepohjaisia arviointimenetelmiä. Menetelmien muuttujien vaikutusta testattiin yksi kerrallaan, sekä vertailtiin menetelmiä toisiinsa. Työmaalla mitattuja tuloksia verrattiin eri menetelmien antamiin kuivumisaika-arvioihin. Vuodenajan vaikutusta betonin kuivumiseen testattiin peruskerrostalolla, joka valmistuu yhdessätoista kuukaudessa. Kerrostalon rakentamisen aloitus testattiin kaikilla kuukausilla. Mallien ympäristön raja-arvot saatiin ilmatieteenlaitokselta ja osa lämpötiloista jouduttiin arvioimaan. Elementtitoimittajilta saatiin käytettyjen betonien koostumukset.

Betonin kuivumiseen vaikuttaville muuttujille saatiin taulukoitua muuttujille kertoimet. Kertoimet perustuvat Torkas-ohjelmasta saatuihin tuloksiin. Työmaalla helposti kontrolloitavista muuttujista vesi-sideainesuhde, lisäkastuminen ja ympäristön olosuhteet vaikuttivat merkittävästi betonin kuivumiseen. Suunnitteluvaiheessa tulisi kiinnittää huomiota rakenteiden paksuuteen ja rakenneratkaisuun. Tutkimuksen mukaan rakenteen paksuuden kaksinkertaistuessa kuivuminen ei nelinkertaistu. Kuivuminen pitenee noin 2,5–3-kertaisesti.

Vuodenajan vaikutuksen vertailussa tulokseksi saatiin suuria eroja aloituskuukausien välille. Edullisten ja epäedullisten aloituskuukausien välille saatiin 63 % kuivumiseros. Betonin kuivumisen kannalta heikoimmaksi kuivumiskuukaueksi saatiin aikaväli kesäkuun alusta lokakuun loppuun. Aikaväli on selitettävissä sademäärillä, sekä lämpötilojen ja suhteellisen kosteuden tuottamasta vesihöyryn paine-erosta.

Peruskerrostalon mallinnuksessa ei saavutettu 90 % tavoitekosteutta testatuilla rakenteilla. Peruskerrostalon tulokset perustuivat Torkas-ohjelman tuloksiin, sekä tutkimuksessa asetettuihin ympäristön raja-arvoihin ja oletuksiin. Torkas-ohjelma todettiin näyttävän suurempia tuloksia kuin työmaalla mitatut arvot. On hyvin mahdollista, että rakenteet ehtivät kuivua 11 kuukaudessa määrättyyn suhteelliseen kosteuteen. Tutkimuksessa päädyttiin epäedullisten kuivumiskuukausien ja suuruusluokkien olevan vain suuntaa-antavia. Ympäristön olosuhteisiin, betonivalintoihin ja suhteellisen kosteuden mittaustuloksiin tulisi kiinnittää erityistä huomiota, jos peruskerrostalon rakentaminen aloitetaan maaliskuu-kesäkuussa.

Case-kohteen mitatut rakenteet saavuttivat laskennallisesti tavoitekosteuden ennen päällystämistä Torkas- ja BY1021-mentelmillä. Työmaalla mitatut suhteelliset kosteudet eivät vastanneet Torkas-ohjelman antamiin tuloksiin. Vaakarakenteet olivat jopa 29 prosenttiyksikköä kuivemmat, kuin ohjelman antamat tulokset. Pystyrakenteet olivat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta ± 3 prosenttiyksikön sisällä. Suhteellisen kosteuden porareikämenetelmän tarkkuus on ± 5 RH. Kaikista Torkas-ohjelman tuloksista noin 33 % oli ± 5 prosenttiyksikön sisällä mitatuista tuloksista. Torkas-ohjelman tulokset olivat paria poikkeusta lukuun ottamatta tavoitekosteuden alapuolella. Tutkimuksessa todetaan, ettei Torkas-ohjelma ole tarpeeksi tarkka ja yksinkertainen betonin kuivumista arvioitaessa.

BY 1021-menetelmän tulokset olivat aina tavoitekosteuden alapuolella. BY 1021-mentelmä on tarkempi kuin Torkas-ohjelma ja huomattavasti helppokäyttöisempi. Tutkimuksessa suositellaan BY 1021-menetelmää työmaakäyttöön. Tutkimuksen mukaan Lathund-, RTT- tai BLY 7-meneteliä ei tulisi käyttää betonin kuivumista arvioitaessa. Menetelmät näyttävät liian lyhyitä kuivumisaikoja tai reilusti pidempiä, mitä todellisuudessa ovat.

Tutkimuksessa vuodenajan vaikutus ja muuttujien kertoimet perustuvat Torkas-ohjelmasta saatuihin arvoihin. Torkas-ohjelman tulokset poikkesivat työmaalla mitatuista arvoista huomattavasti. Tutkimuksessa ei löydetty poikkeavuudelle järkevää selitystä. Torkas-ohjelman tulokset olivat sitä lähempänä, mitä korkeammat arvot oli mitattu työmaalla. Torkas-ohjelma näyttää liian korkeita suhteellisia kosteuksia. Vuodenajan vaikutus ja muuttujien kertoimet ovat suuntaa antavia.

Tutkimuksessa päädyttiin samaan lopputulokseen kuin muissakin tutkimuksissa ja ohjeissa. Suhteellinen kosteus tulee aina mitata työmaalla, arviointimenetelmät ovat suuntaa-antavia.

Lähdeluettelo

- Arfvidsson, J., Hedenblad, G., Nilsson, L-O. Datorprogrammet TorkaS 3, som prognos-verktyg vid val av ekonomisk betongkvalitet från uttorkningssynpunkt. 18 s. Viitattu 14.3.2013 http://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/PDF-filer/Datorprogrammet_TorkaS_3_slutversion_rev__1.pdf
- Betonilattiat 2000 – BY 45 / BLY 7. 2000. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys r.y. 164 s. ISBN 952-5075-28-1
- Betonirakentamisen laatuohjeet 2007 – BY 47. 2007. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy. 159 s. ISBN 978-952-5075-80-9
- Betonitekniikan oppikirja 2004 – BY 201. 2004. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy. 570 s. ISBN 952-5075-61-3
- Elementtisuunnittelu www-sivut 2013. Viitattu 20.3.2013. www.elementtisuunnittelu.fi
- Hedenblad, G. 1993. Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste. Lund: Lund Institute of Technology. 266 s. ISSN 0348-7911.
- Holmberg, H. 2011. Kuivatus- ja haihdutusprosessit teollisuudessa –kurssimoniste. 257 s. Espoo: Aalto yliopisto.
- Holmberg, H. 2012. Tekniikan tohtori. Aalto-yliopisto. Kuivatus- ja haihdutusprosessit teollisuudessa kurssi. Syksy 2012.
- Ilmatieteenlaitos. 2013. Ilmasto – vuosi 2012. Viitattu 5.3.2013. <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2012>
- Johansson, K., Komonen, J., Penttala, V. 1995. Paikallavalutekniikka. Helsinki: RTT Rakenneusteollisuus ry. ISBN 951-9365-92-3.
- Johansson, P. 2012. Uttorkning av betong – Laboratoriestudien bakom TorkaS3. Lund: Lund University. 66 s. ISSN 0348-7911 TVBM.

Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy. 62 s. ISBN 952-5075-45-1

Merikallio, T. 2003. Rakennustyömaan olosuhdehallinta - Ohjeita ja esimerkkejä. Helsinki: Humittest Oy. 51 s.

Merikallio, T., Niemi, S. & Komonen, J. 2007. Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy. 47 s. ISBN 978-952-5075-89-2

Merikallio, T. 2009. Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakentamisessa. Espoo: TKK Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitos. 136 s. ISBN 987-951-22-9956-0

Nora asennusohjeet. 2011. 20 s. Viitattu 8.2.2013. <http://www.nora.com/fi>

Ormiskangas, P. 2009. Betonisandwich-elementin kosteustekninen toiminta paksuilla eristeillä. Diplomityö. 134 s. Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Penttala, V. Rak-82.3131 Betonitekniikka 2 kurssi, luentokalvo 5 sivu 10. Syksy 2011.

Penttala, V. Rak-82.3131 Concrete technology 2 course, powerpoint material of lecture 9 sivu 6. Syksy 2012.

Persson, B. 1992. Högpresterande betongs hydratation, struktur och hållfasthet. Lund: Lund University. 379 s. ISSN 0348-7911

Powers, T. C., Copeland, L. E. & Mann, H. M. 1959. Capillary Continuity or Discontinuity in Cement Pastes. Skokie: Portland Cement Association. 12 s.

RT 14-10984. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen. 2010. Helsinki: Rakennustieto. 16 s.

Rudus – betonin, kuljetuksen ja siirtokaluston hinnasto 1.1.2013. – Länsi-, pohjois- sekä Itä-Uusimaa. 2013. 28 s. Viitattu 25.3.2013. <http://www.rudus.fi/>

Rudus käyttöohje – Nopeammin päällystettävä (NP) lattiabetoni. 2009. 4 s. Viitattu 17.1.2013. <http://www.rudus.fi/aineistot/ohjeet>

Räsänen, V., Eronen, J., Wirtanen, L. & Penttala, V. 1998. Tasoitteiden vaikutus betoni-lattioiden kosteustekniseen toimintaan. Espoo: TKK. 32 s. ISBN 951-22-4283-4

Solante, A. 2013. Yksikön päällikkö, Lohja Rudus Oy. Lahti. Henkilökohtainen tiedon-
anto 28.2.2013.

Tarkett asennusohje. 2012. 4 s. Viitattu 8.2.2013. <http://www.tarkett.fi/>

Teknisk Handbok – Frico. Viitattu 20.3.2013. 23 s.
http://www.frico.se/Documents/SE/fh_handbook_se.pdf

YIT www-sivut. Viitattu 5.2.2013. <http://yit.materialbank.net/>

Vetonit 4150 tuoteohje. 2013. 1 s. Viitattu 22.1.2013. <http://www.e-weber.fi>

Vetonit WP tuotekortti. 2013. 1 s. Viitattu 6.2.2013. <http://www.e-weber.fi>

Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. 2013. Viitattu 19.4.2013
<http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/korrelaatio/korrelaatio.html>

Xin, D., Zollinger, D.G. & Allent G.D. 1995. An Approach to Determine Diffusivity in
Hardening Concrete Based on Measured Humidity Profiles. San Antonio: University of
Texas. 7 s.

Liiteluettelo

Liite 1 Cramo mittauspöytäkirja

Liite 2 Kuva MoistureCalc ohjelmasta

Liite 3 Lathund-menetelmä

Liite 4 BLY 7-menetelmä

Liite 5 RTT-menetelmä

Liite 6 BY 1021-menetelmä

Liite 8 Rakennerratkaisun vaikutus

Liite 9 Kannustuvan yleisaikataulu

Liite 10 Työmaan viikkokierto kuukausien mukaan

Liite 11 Valupäivästä tiivistykseen, epäedulliset kuukaudet

Liite 12 Case-kohteen kerroksien lämpötila, suhteelliset kosteuden ja sateet

Liite 13 Onnelanpolun aikataulu elementtien ja pinnoitteiden osalta

Liite 14 Menetelmien muuttujien vertailutaulukko

Liite 15 Vertaillut mittaustulokset, Cramo ja Torkas

Liite 16 Vertaillut mittaustulokset väliseinistä, Cramo ja Torkas vesi-sideainesuhteella
0,64

Liite 1 Cramo mittauspöytäkirja (1/11)

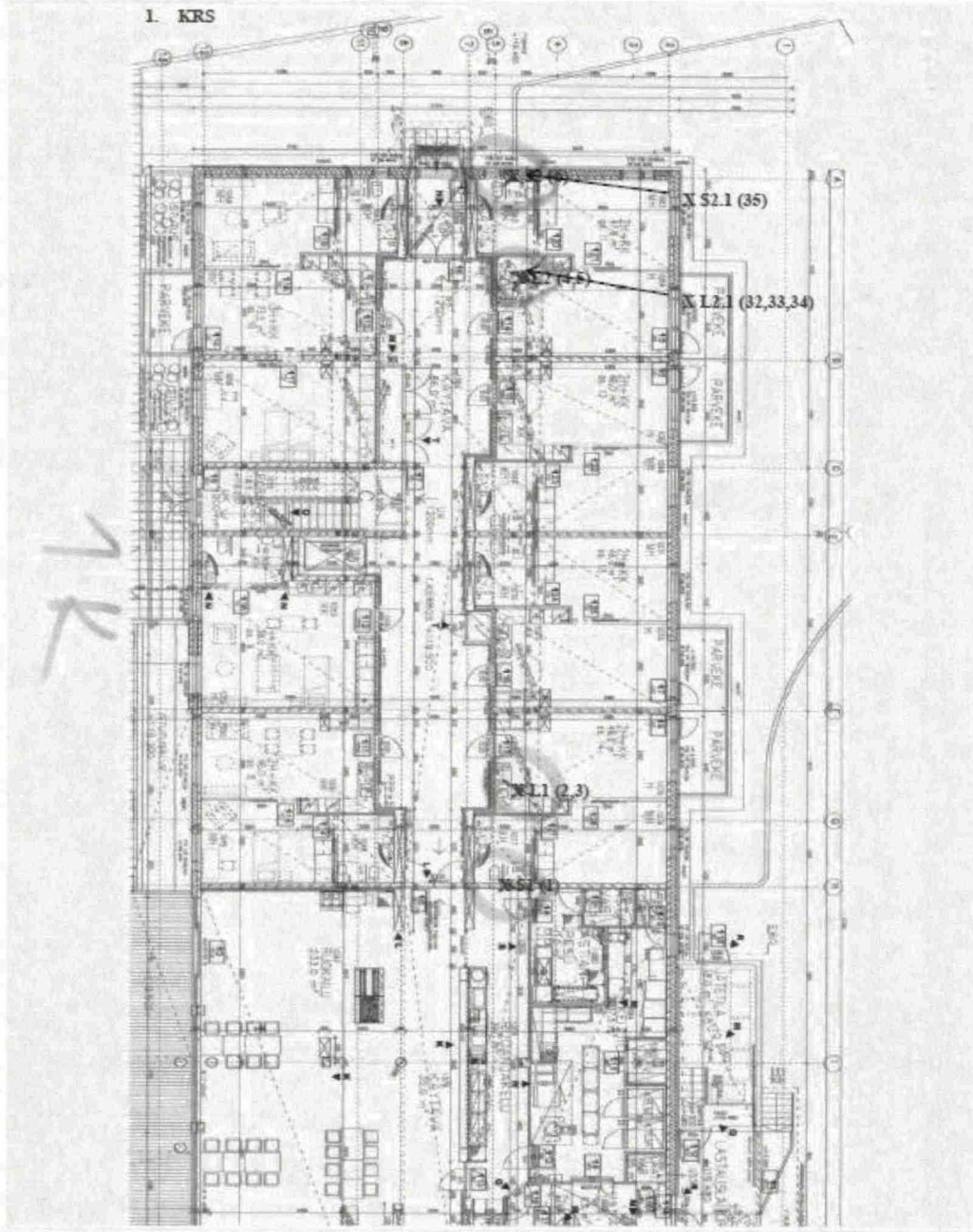


KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

4

POHJAKUVAT KOHTEESTA

1. KRS



Cramo Finland Oy
Katajanharjuntakaari 7
45720 Kuusankoski

kulvaus- ja lämmityspalvelut
Puhelin: 040 673 868 8
Faksi: 010 661 2249

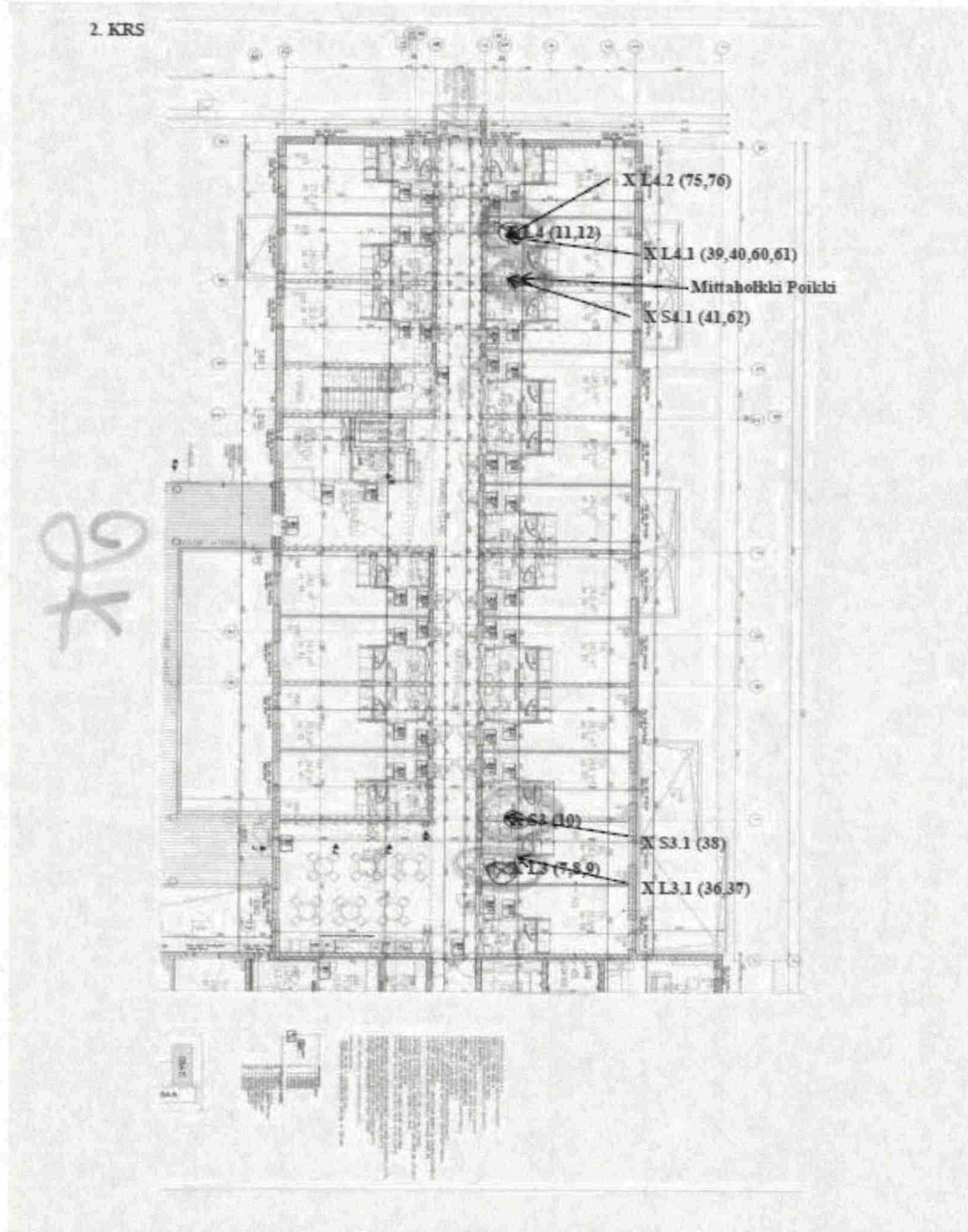
Y-tunnus: 2088499-0
S-posti: mika.valtonen@cramo.com
www.cramo.fi



Liite 1 Cramo mittauspöytäkirja (2/11)

C R A M O
KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

5



Cramo Finland Oy
Katajajarjungaari 7
45720 Kuusankoski

kuivaus- ja lämmityspalvelut
Puhelin: 040 673 868 8
Faksi: 010 661 2249

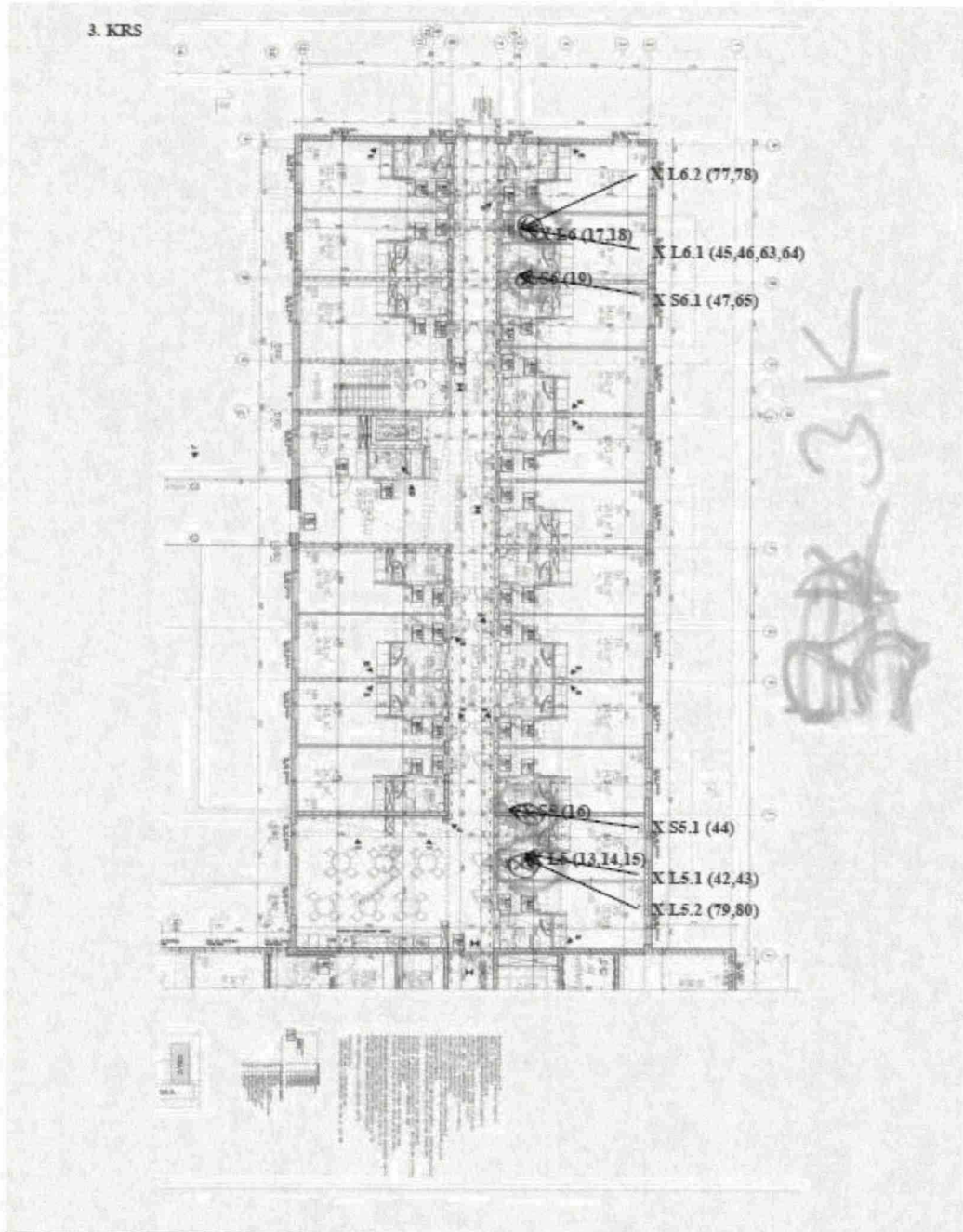
Y-tunnus: 2088499-0
S-posti: mika.vaitonen@cramo.com
www.cramo.fi



Liite 1 Cramo mittauspöytäkirja (3/11)

C R A M O
KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

6



Cramo Finland Oy
Katajaharjunkaari 7
45720 Kuusankoski

kulvaus- ja lämmityspalvelut
Puhelin: 040 673 868 8
Faksi: 010 661 2249

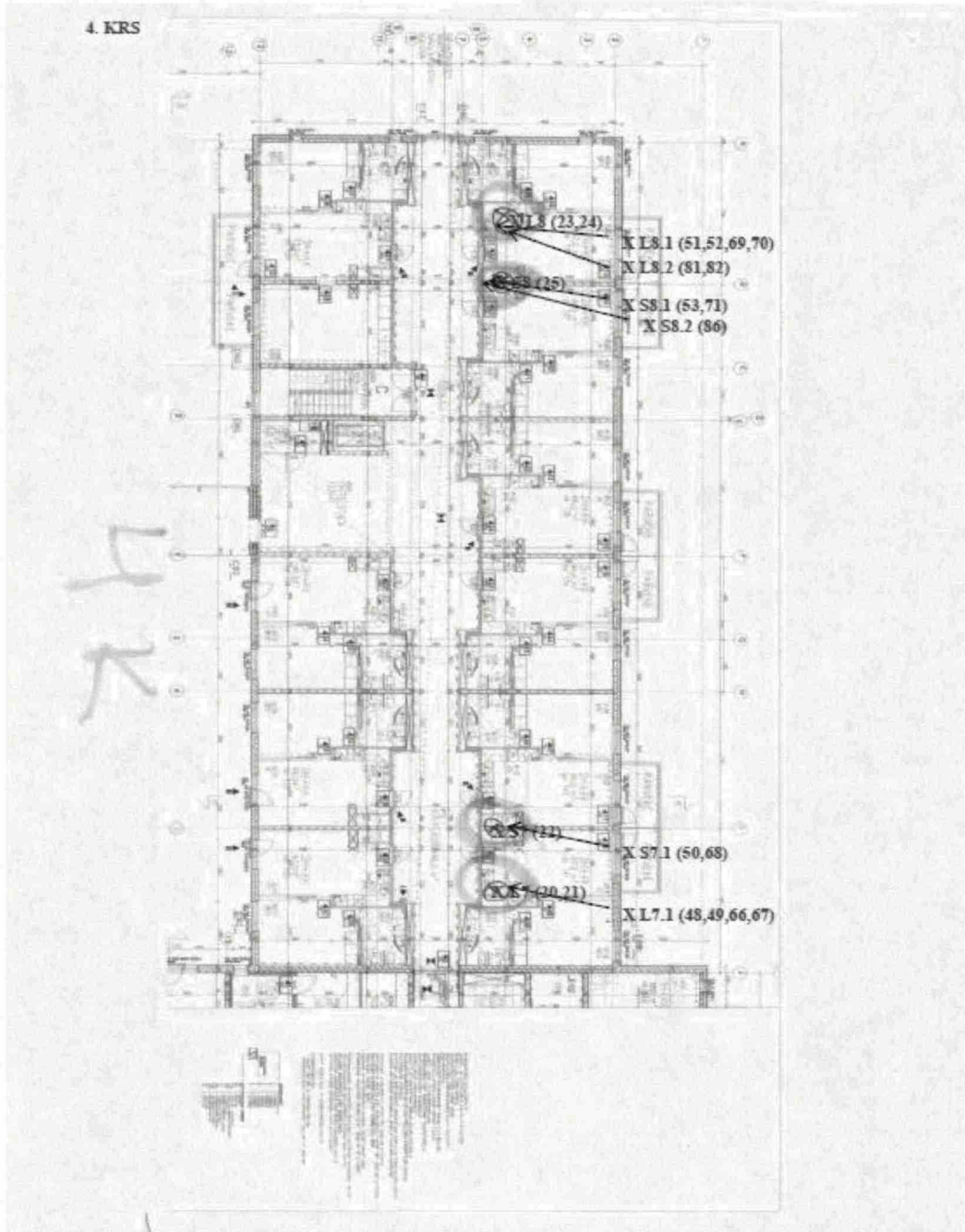
Y-tunnus: 2088499-0
S-posti: mika.valtonen@cramo.com
www.cramo.fi



Liite 1 Cramo mittauspöytäkirja (4/11)

C R A M O
KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

7



Cramo Finland Oy
Katajaharjuntakaari 7
45720 Kuusankoski

kulvaus- ja lämmityspalvelut
Puhelin: 040 673 866 8
Faksi: 010 661 2249

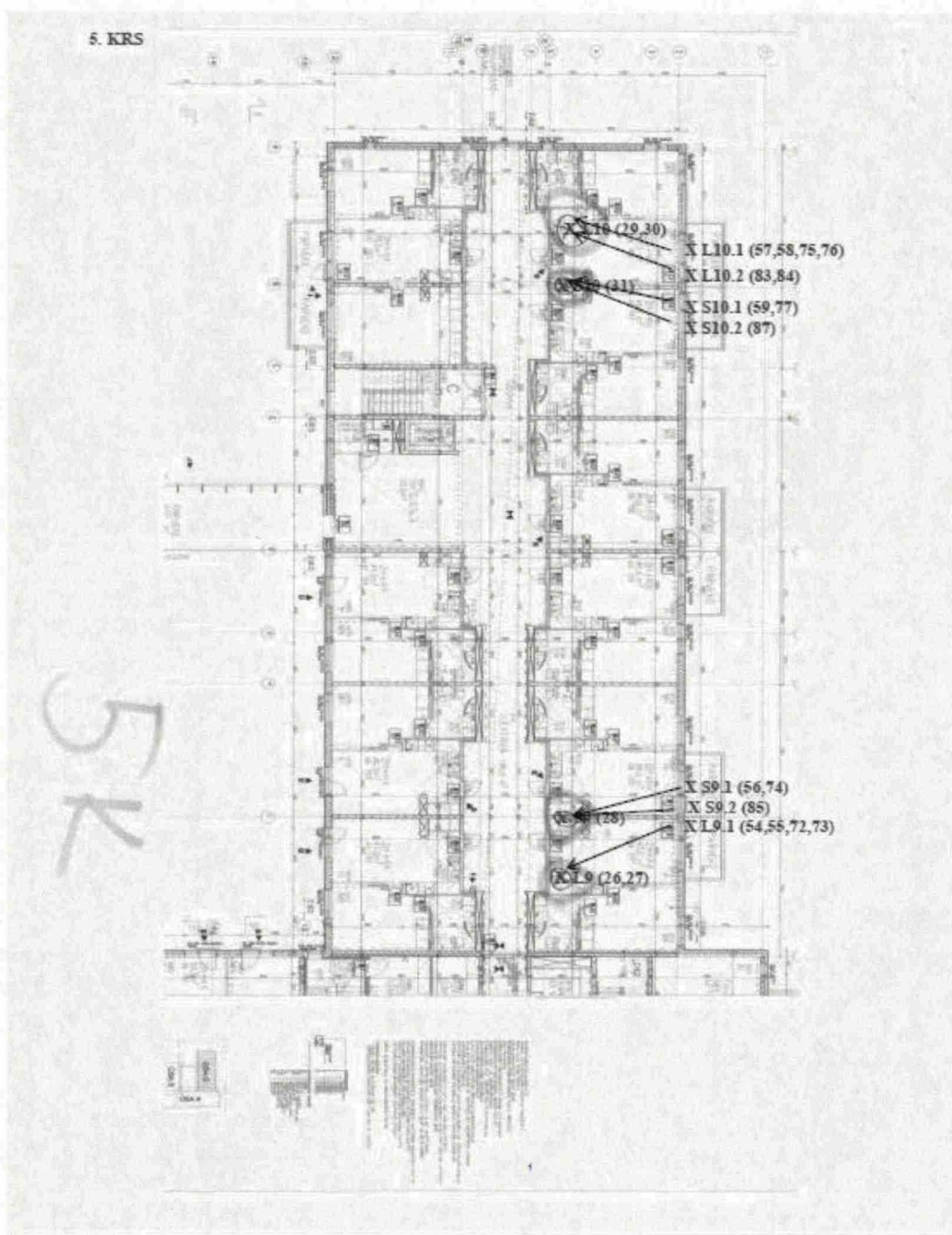
Y-tunnus: 2088499-0
S-posti: mika.valtonen@cramo.com
www.cramo.fi



Liite 1 Cramo mittauspöytäkirja (5/11)

C R A M O
KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

8



Cramo Finland Oy
Katajaharjuntien 7
45720 Kuusankoski

kulvaus- ja lämmityspalvelut
Puhelin: 040 673 868 8
Faksi: 010 661 2249

Y-tunnus: 2088499-0
S-posti: mika.valtonen@cramo.com
www.cramo.fi



Liite 1 Cramo mittauspöytäkirja (6/11)



KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

9

MITTAUSPÖYTÄKIRJAT

1.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittau tulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m ²)	k-piste
24.1.13	Väl HMP44	E23	1077/51	1	seinä/betoni	20mm	58	17		9
24.1.13	Väl HMP44	E26	As14/L1	2	lattia/betoni	28mm	71	15		10
24.1.13	Väl HMP44	E21	As14/L1	3	lattia/betoni	54mm	81	15		12
24.1.13	Väl HMP44	E28	As11/L2	4	lattia/betoni	28mm	80	12		8
24.1.13	Väl HMP44	E24	As11/L2	5	lattia/betoni	54mm	82	11		8
24.1.13	Väl HMP44	E29	1062/52	6	seinä/betoni	20mm	70	24		8
24.1.13	Väl HMP44	E23	Käytävä 1krz		sisäilma		17	20	3	-5

1.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittau tulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m ²)	k-piste
25.2.13	Väl HMP44	E22	As11/L2.1	32	lattia/betoni	15mm	42	15		2
25.2.13	Väl HMP44	E24	As11/L2.1	33	lattia/betoni	35mm	74	15		10
25.2.13	Väl HMP44	E21	As11/L2.1	34	lattia/betoni	70mm	82	15		12
25.2.13	Väl HMP44	E29	1062/52.1	35	seinä/betoni	25mm	72	15		10
25.2.13	Väl HMP42	244	Käytävä 1krz		sisäilma		31	14	4	-3

2.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittau tulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m ²)	k-piste
24.1.13	Väl HMP44	E27	As58/L3	7	lattia/betoni	20mm	91	9		8
24.1.13	Väl HMP44	E22	As58/L3	8	lattia/betoni	40mm	86	10		8
24.1.13	Väl HMP44	E25	As58/L3	9	lattia/betoni	54mm	82	10		7
24.1.13	Väl HMP44	E30	2102/KH/53	10	seinä/betoni	20mm	69	3		4
24.1.13	Väl HMP44	E18	As49/L4	11	lattia/betoni	20mm	90	9		8
24.1.13	Väl HMP44	E16	As49/L4	12	lattia/betoni	40mm	85	10		8
24.1.13	Väl HMP44	E30	Käytävä 2krz		sisäilma		28	12	3	-6

2.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittau tulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m ²)	k-piste
25.2.13	Väl HMP44	E26	As58/L3.1	36	lattia/betoni	15mm	42	16		3
25.2.13	Väl HMP44	E25	As58/L3.1	37	lattia/betoni	35mm	72	16		11
25.2.13	Väl HMP44	E26	2102/KH/53.1	38	seinä/betoni	25mm	71	16		11
25.2.13	Väl HMP44	E28	As49/L4.1	39	lattia/betoni	15mm	49	12		1
25.2.13	Väl HMP44	E27	As49/L4.1	40	lattia/betoni	35mm	78	13		9
25.2.13	Väl HMP44	E30	As49/KH/54.1	41	seinä/betoni	25mm	66	12		10
25.2.13	Väl HMP42	244	Käytävä 2krz		sisäilma		33	15	4	-2

Cramo Finland Oy
Katajajarjunkaari 7
45720 Kuusankoski

kulutus- ja lämmityspalvelut
Puhelin: 040 673 868 8
Faksi: 010 661 2249

Y-tunnus: 2088499-0
S-posti: miika.vallonen@cramo.com
www.cramo.fi



Liite 1 Cramo mittauspöytäkirja (7/11)



KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

10

2.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittautulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m³)	k-piste
4.3.13	Väl HMP44	E28	As49/L4.1	60	lattia/betoni	15mm	ANTURIT VAURIOITUNEET			
4.3.13	Väl HMP44	E30	As49/L4.1	61	lattia/betoni	35mm	ANTURIT VAURIOITUNEET			
4.3.13	Väl HMP44	E26	As49/KH/54.1	62	seinä/betoni	25mm	85	16		14
4.3.13	Väl HMP42	244	Käytävä 2krz		sisäilma		20	16	3	-7

2.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittautulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m³)	k-piste
25.3.13	Väl HMP44	E30	As49/L4.2	75	lattia/betoni	54mm	75	14		9
25.3.13	Väl HMP44	E25	As49/L4.2	76	lattia/betoni	70mm	80	14		10
25.3.13	Väl HMP44	E24	Käytävä 2krz		sisäilma		31	17	4	-1
25.3.13	Väl HMP44	E24	Piha		ulkoilma		47	4	3	

3.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittautulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m³)	k-piste
24.1.13	Väl HMP44	E14	As107/L5	13	lattia/betoni	25mm	96	7		6
24.1.13	Väl HMP44	E20	As107/L5	14	lattia/betoni	45mm	87	7		5
24.1.13	Väl HMP44	E15	As107/L5	15	lattia/betoni	54mm	83	7		4
24.1.13	Väl HMP44	E11	3102/55	16	seinä/betoni	20mm	71	7		2
24.1.13	Väl HMP44	E13	As98/L6	17	lattia/betoni	20mm	99	5		5
24.1.13	Väl HMP44	E17	As98/L6	18	lattia/betoni	40mm	88	5		3
24.1.13	Väl HMP44	E12	3084/56	19	seinä/betoni	20mm	91	8		5
24.1.13	Väl HMP44	E19	Käytävä 3krz		sisäilma		53	6	4	-3

3.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittautulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m³)	k-piste
25.2.13	Väl HMP44	E3	As107/L5.1	42	lattia/betoni	20mm	64	15		8
25.2.13	Väl HMP44	E10	As107/L5.1	43	lattia/betoni	40mm	80	15		12
25.2.13	Väl HMP44	E5	As107/S5.1	44	seinä/betoni	25mm	74	15		10
25.2.13	Väl HMP44	E2	As98/L6.1	45	lattia/betoni	25mm	78	11		8
25.2.13	Väl HMP44	E1	As98/L6.1	46	lattia/betoni	45mm	83	12		9
25.2.13	Väl HMP44	E8	As98/S6.1	47	seinä/betoni	25mm	86	12		10
25.2.13	Väl HMP42	244	Käytävä 3krz		sisäilma		40	13	5	0



Liite 1 Cramo mittauspöytäkirja (8/11)



KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

11

3.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittaustulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m³)	k-piste
4.3.13	Val HMP44	E24	As90/L6.1	63	lattia/betoni	25mm	76	15		9
4.3.13	Val HMP44	E23	As90/L6.1	64	lattia/betoni	45mm	83	15		12
4.3.13	Val HMP44	E22	3004/S6.1	65	seinä/betoni	25mm	87	15		13
4.3.13	Val HMP42	244	Käytävä 3krs		sisäilma		19	15	2	-9

3.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittaustulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m³)	k-piste
25.3.13	Val HMP44	E22	As90/L6.2	77	lattia/betoni	54mm	74	14		9
25.3.13	Val HMP44	E21	As90/L6.2	78	lattia/betoni	70mm	77	14		10
25.3.13	Val HMP44	E4	As107/L5.2	79	lattia/betoni	54mm	73	14		10
25.3.13	Val HMP44	E5	As107/L5.2	80	lattia/betoni	70mm	79	14		11
25.3.13	Val HMP44	E24	Käytävä 3krs		sisäilma		28	16	4	-1
25.3.13	Val HMP44	E24	Pihe		ulkoilma		47	4	3	-6

4.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittaustulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m³)	k-piste
24.1.13	Val HMP44	E22	As141/L7	20	lattia/betoni	28mm	82	6		3
24.1.13	Val HMP44	E23	As141/L7	21	lattia/betoni	54mm	84	6		4
24.1.13	Val HMP44	E29	As141/S7	22	seinä/betoni	20mm	91	5		4
24.1.13	Val HMP44	E27	As136/L8	23	lattia/betoni	28mm	85	4		1
24.1.13	Val HMP44	E26	As136/L8	24	lattia/betoni	54mm	85	4		2
24.1.13	Val HMP44	E30	As136/S8	25	seinä/betoni	20mm	96	3		2
24.1.13	Val HMP44	E23	Käytävä 4krs		sisäilma		40	7	3	-6

4.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittaustulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m³)	k-piste
25.2.13	Val HMP44	E9	As141/L7.1	46	lattia/betoni	20mm	65	14		7
25.2.13	Val HMP44	E4	As141/L7.1	49	lattia/betoni	40mm	79	14		10
25.2.13	Val HMP44	E6	As141/S7.1	50	seinä/betoni	25mm	91	13		12
25.2.13	Val HMP44	E5	As136/L8.1	51	lattia/betoni	20mm	73	11		6
25.2.13	Val HMP44	E8	As136/L8.1	52	lattia/betoni	40mm	85	11		8
25.2.13	Val HMP44	E1	As136/S8.1	53	seinä/betoni	25mm	89	10		9
25.2.13	Val HMP42	244	Käytävä 4krs		sisäilma		41	13	5	0



Liite 1 Cramo mittauspöytäkirja (9/11)



KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

12

4.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittaustulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m³)	k-piste
4.3.13	Väl HMP44	E5	As141/L7.1	66	lattia/betoni	20mm	52	15		6
4.3.13	Väl HMP44	E9	As141/L7.1	67	lattia/betoni	40mm	75	16		11
4.3.13	Väl HMP44	E3	As141/S7.1	68	seinä/betoni	25mm	91	15		13
4.3.13	Väl HMP44	E10	As136/L8.1	69	lattia/betoni	20mm	70	15		8
4.3.13	Väl HMP44	E1	As136/L8.1	70	lattia/betoni	40mm	79	15		10
4.3.13	Väl HMP44	E7	As136/S8.1	71	seinä/betoni	25mm	88	13		11
4.3.13	Väl HMP42	244	Käytävä 4.krs		sisäilma		22	17	3	

4.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittaustulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m³)	k-piste
25.3.13	Väl HMP44	E10	As136/L8.2	81	lattia/betoni	54mm	78	14		10
25.3.13	Väl HMP44	E3	As136/L8.2	82	lattia/betoni	70mm	83	14		11
25.3.13	Väl HMP44	E6	As136/S8.2	86	seinä/betoni	40mm	90	14		12
25.3.13	Väl HMP44	E24	Käytävä 4.krs		sisäilma		37	16	5	2
25.3.13	Väl HMP44	E24	Piha		ulkoilma		47	4	3	-6

5.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittaustulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m³)	k-piste
24.1.13	Väl HMP44	E24	As171/L9	26	lattia/betoni	28mm	83	3		3
24.1.13	Väl HMP44	E25	As171/L9	27	lattia/betoni	54mm	86	6		4
24.1.13	Väl HMP44	E21	As171/S9	28	seinä/betoni	20mm	88	5		4
24.1.13	Väl HMP44	E19	As166/L10	29	lattia/betoni	28mm	90	2		1
24.1.13	Väl HMP44	E12	As166/L10	30	lattia/betoni	54mm	92	3		1
24.1.13	Väl HMP44	E13	As166/S10	31	seinä/betoni	20mm	89	0		0
24.1.13	Väl HMP44	E28	Käytävä Skrs		sisäilma		39	7	3	-6
24.1.13	Väl HMP44	E20	Piha		ulkoilma		74	-9	2	-13

5.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittaustulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m³)	k-piste
25.2.13	Väl HMP44	E9	As171/L9.1	54	lattia/betoni	15mm	70	13		7
25.2.13	Väl HMP44	E4	As171/L9.1	55	lattia/betoni	35mm	82	13		10
25.2.13	Väl HMP44	E6	As171/S9.1	56	seinä/betoni	25mm	91	12		10
25.2.13	Väl HMP44	E3	As166/L10.1	57	lattia/betoni	15mm	75	10		6
25.2.13	Väl HMP44	E10	As166/L10.1	58	lattia/betoni	35mm	84	10		7
25.2.13	Väl HMP44	E2	As166/S10.1	59	seinä/betoni	25mm	90	10		8
25.2.13	Väl HMP42	244	Käytävä Skrs		sisäilma		44	12	5	0
25.2.13	Väl HMP42	244	Piha		ulkoilma		75	-3	3	-7

Liite 1 Cramo mittauspöytäkirja (10/11)



KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

13

5.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittaustulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m³)	k-piste
4.3.13	Väl HMP44	E27	As171/L9.1	72	lattia/betoni	15mm	56	15		8
4.3.13	Väl HMP44	E25	As171/L9.1	73	lattia/betoni	35mm	77	15		11
4.3.13	Väl HMP44	E29	As171/S9.1	74	seinä/betoni	25mm	89	15		13
4.3.13	Väl HMP44	E4	As166/L10.1	75	lattia/betoni	15mm	64	14		7
4.3.13	Väl HMP44	E6	As166/L10.1	76	lattia/betoni	35mm	78	14		10
4.3.13	Väl HMP44	E2	As166/S10.1	77	seinä/betoni	25mm	90	14		13
4.3.13	Väl HMP42	244	Käytävä Skorz		sisäilma		27	17	4	-4
4.3.13	Väl HMP42	244	Piha		ulkoilma		66	-10	1	-15

5.kerros

Mittauspv m.	Mittauslaite	Anturi nro	Tila	Mittauspiste			Mittaustulokset			
				nro.	Materiaali	Syv.	SK (%)	T (°C)	abs. (g / m³)	k-piste
25.3.13	Väl HMP44	E8	As171/S9.2	85	seinä/betoni	40mm	88	13		11
25.3.13	Väl HMP44	E1	As166/L10.2	83	lattia/betoni	54mm	82	15		12
25.3.13	Väl HMP44	E9	As166/L10.2	84	lattia/betoni	70mm	85	15		12
25.3.13	Väl HMP44	E7	As166/S10.2	87	seinä/betoni	40mm	89	15		13
25.3.13	Väl HMP44	E24	Käytävä Skorz		sisäilma		32	15	5	0
25.3.13	Väl HMP44	E24	Piha		ulkoilma		47	4	3	-6

SK = suhteellinen kosteus, ilmaisteen prosentteina. Luku ilmaisee vallitsevan kosteuden verrattuna kyllästyskosteuteen.
T = Lämpötila
abs. = absoluuttinen kosteus, ilmaisee kosteuspitoisuuden g (vettä) / kg (ilma) tai vastaavasti g (vettä) / m³ (ilma)
k-piste = kastepiste, se lämpötila, missä kosteus alkaa tiivistymään, jos lämpötilat olisivat kyseisen lukeman.

Mittauspöytäkirjojen merkinnät:
SK (%) kohdassa punaisella, mittaputki kondensoinut vettä.
T (°C) kohdassa punaisella, lämpötila liian alhainen luotettavan mittaustuloksen saamiseksi. Mitattu tulos on suuntaa-antava.



Liite 1 Cramo mittauspöytäkirja (11/11)



KOSTEUSMITTAUSRAPORTTI

22

KÄYTETTY MITTAUSKALUSTO

Vaisala HMP 44 - anturi / HMI 41	Sall.max. RH 75 % \pm 5 (eristettä) Lämpötilassa + 20 °C Sall.max. RH 80 % \pm 5 (betoni) Lämpötilassa + 20 °C
Mittalaite tarkkuus lämpötilassa + 20 °C	Anturit HMP 42 ja 44 \pm 2 % RH (0-90), \pm 3 % RH (90-100), anturi HMP 46 \pm 1 % RH (0-90), \pm 2 % RH (90-100) Näyttölaite HMI 41 \pm 1 % RH
Mittauksen kokonaistarkkuus	Mittauksien kokonaistarkkuus (huomioiden mittausolosuhteiden, mittaustavan ja antureiden sekä näyttölaitteen aiheuttamat poikkeamat) on \pm 5 % RH
Vaisala HMP 42 - anturi / HMI 41	Sall.max. RH 75 % \pm 5 (eristettä) Lämpötilassa + 20 °C Sall.max. RH 80 % \pm 5 (betoni) Lämpötilassa + 20 °C

Anturi	Näyttölaite	Anturinumero	kalibroitu
Vaisala HMP44	HMI41	E21-30	11/2012
Vaisala HMP44	HMI41	E11-20	01/2012
Vaisala HMP44	HMI41	E1-E10	01/2013
Vaisala HMP42	HMI41	244	08/2012

Mittareijat on porattu ja puhdistettu imuroimalla	21.1.13, 21.2.13, 4.3.13, 21.3.13
Anturit asennettu	24.1.13, 25.2.13, 4.3.13, 25.3.13
Mittaus suoritettu	24.1.13, 25.2.13, 4.3.13, 25.3.13
=> tasaantumisaika	1 h
Mitta-anturit on kalibroitu	ks. yllä

Eristetilan lämpötilakorjaus: tarkistettava IX-diagrammista.

Betonin lämpötilakorjaus : Lämpötilan ollessa alle 20 °C, lisäantyy SK 0,5 % / 1 °C.
Lämpötilan ollessa yli 20 °C, vähenee SK 0,5 % / 1 °C.

Lähde: Lars-Olof Nilsson, Fuktmätning del 2

Ohjeelliset arvot materiaalin kosteuspitoisuuden, lämpötilan ja ajan merkityksestä homehtumisriskiin.

VHTEENVETO

Paikka ja aika:	Kouvola 25.3.2013
Raportin laatija:	Mika Valtonen
Jakelu	YIT Rakennus OY / Mika Hietamäki, Teppo Saarinen. Samu Jokelainen



Liite 2 Kuva MoistureCalc ohjelmasta

Valitse lattiatasoite ja tasoitekerroksen paksuus

Tuote: weber-veltonit 4150 Pilaano Plus (4-30mm)

Paksuus: 20 mm

Valitse sisälman kosteus ja lämpötila

0-27
50%
20°C

28-lopp
50%
20°C

Zoom 100%

Ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila

Alkuspäivä: 28
Ilman suhteellinen kosteus: 50 %
Lämpötila: 20 °C

Tallenna...
Poiista
Poiista

Valitse seuraavat tiedot laskentaa varten

☒ Käytä suhteellisen kosteuden arvoja (RH %)
☐ Käytä karbidimittarilla mitattuja arvoja (CN-arvot)

Aseta laskennan pohjaksi päivien määrä:

50

Projektin tiedot

Projektitiedot näkyvät pdf-tulosteassa

Kohde
(korkeintaan 90 merkkiä)

Urakoitsija
(korkeintaan 90 merkkiä)

Suunnittelija

Muutos

Yksipuoleinen kuivuminen 40 % syvyydessä, RH-suhteellinen kosteus.

Tässä esitetään kuivumisprosessi 40% syvyydessä ajan suhteessa (päiviä). Kuivuminen on yksipuoleista ja vastaa keskimääräistä kosteustasoa koko tasoitteen kerrospaksuudelta.

Yksipuoleinen kuivuminen 40 % syvyydessä, RH-suhteellinen kosteus.

Tässä esitetään kuivumisprosessi 40% syvyydessä ajan suhteessa (päiviä). Kuivuminen on yksipuoleista ja vastaa keskimääräistä kosteustasoa koko tasoitteen kerrospaksuudelta.

Yksipuoleinen kuivuminen 40 % syvyydessä, RH-suhteellinen kosteus.

Tässä esitetään kuivumisprosessi 40% syvyydessä ajan suhteessa (päiviä). Kuivuminen on yksipuoleista ja vastaa keskimääräistä kosteustasoa koko tasoitteen kerrospaksuudelta.

Perustuen annettuihin tietoihin 50 päivässä saavutetaan kosteustaso 53% RH.

Voit käyttää myös pikatasoitetta Floor 4150.

Ota huomioon, että ylläoleva kosteuskalkulaatio on teoreettinen arvio kuivumisprosessista. Kosteusmittaukset paikan päällä kertovat materiaalien todellisen kosteustason.

Liite 3 Lathund-menetelmä

Betongtorkning – lathund

Lathunden utgår från ett standardbjälklag med

tjocklek	18 cm
temperatur	18°C
luftens RF	60%
uttorkning	dubbelsidig
härddning	2 veckor regn + 2 veckor fuktmättad luft alt tät täckning

FAKTOR 1 Standarduttorkningstid

Du tar reda på vilket betongens vct är och bestämmer dig för om du vill uppnå 90% eller 85% RF, därefter utläser du din standarduttorkningstid. Vi rekommenderar 85%.

RF	vct			
	0,4	0,5	0,6	0,7
85%	50	90	135	180
90%	20	45	65	95

FAKTOR 2 Konstruktionstjocklek

Att tjockleken påverkar uttorkningstiden är bekant sen gammalt. Det som är nytt är att betonger med olika vct-tal påverkas olika vid olika tjocklekar.

Du får fram din korrektionsfaktor genom att ange vct och konstruktionstjocklek.

Tjocklek	vct			
	0,4	0,5	0,6	0,7
10 cm	0,4	0,4	0,4	0,4
15 cm	0,8	0,8	0,8	0,7
18 cm	1,0	1,0	1,0	1,0
20 cm	1,1	1,1	1,1	1,2
25 cm	1,3	1,4	1,5	1,8
27cm	1,38	1,52	1,66	2,04

FAKTOR 3 Enkel- eller dubbelsidig uttorkning

Det ter sig naturligt att bjälklaget torkar ut snabbare med dubbelsidig uttorkning än med enkelsidig. Problemet med att bestämma Faktor 3 har till viss del varit att definiera vad som är enkelsidigt uttorkande. Filigranbjälklag betraktas som dubbelsidigt uttorkande, om filigranplattans tjocklek räknas in i konstruktionstjockleken (Faktor 2). Platta på mark betraktas som enkelsidigt uttorkande.

Uttorkning	vct			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Enkel	2,0	2,3	2,6	3,2
Dubbel	1,0	1,0	1,0	1,0

FAKTOR 4 Temperatur och luftfuktighet

Luftens temperatur och relativa fuktighet (RF) har betydelse för hur snabbt betongen torkar ut. Genom att utsätta betongen för torr varm luft kommer torktiderna att kunna reduceras drastiskt. Vilken temperatur och relativ fuktighet luften har under uttorkningskedet är något du till stor del kan styra själv. För normalt torkklimat är RF ca 70%.

RF	Temperatur (°C)			
	10	18	25	30
35%	1,2	0,8	0,7	0,6
50%	1,2	0,9	0,7	0,6
60%	1,3	1,0	0,8	0,7
70%	1,4	1,1	0,8	0,7
80%	1,7	1,2	1,0	0,9

FAKTOR 5 Härddning

Vill du uppnå 85% RF, är faktor 5 lika med 1,4 om betongytan utsätts för fyra veckor regn, annars är faktorn 1,0. Om du vill uppnå 90% RF, hämtas faktor 5 ur tabellen till höger. För att uppnå en torr betong är det viktigt att uttorkningen startar så snart som möjligt efter gjutning, då betongen är som mest öppen. Efter hand tättnar den, vilket kraftigt förlänger uttorkningstiden.

Härddning (gäller uttorkning till 90%)	vct		
	0,5	0,6	0,7
Torr väderlek	0,5	0,5	0,7
4 veckor fuktmättad luft, alternativt tät täckning	0,5	0,7	0,8
4 veckor regn	1,0	1,3	1,3

Torkstart börjar då konstruktionen inte tillförs mer fukt (konstruktionen är tät).

Multiplitera ihop alla faktorer.

Standarduttorkningstid (dygn)	×	Tjockleksfaktor	×	Enkel/dubbel faktor	×	Klimatfaktor	×	Härdfaktor	=	Torktid (dygn)
Faktor 1		Faktor 2		Faktor 3		Faktor 4		Faktor 5		

Inblandning av 10% silika ger en minskning av torktiden med ca 50%.

Inblandning av 5% silika ger en minskning av torktiden med ca 50% för vct≤0,5.

Liite 4 BLY 7-menetelmä

Taulukko 4.9 Likimääräinen aika lattiabetonin kuivattamiseksi 90 % suhteelliseen kosteuteen /3/. Suhteellinen kosteus tulee mitata ennen pinnoittamista. Taulukon kertoimet ovat ohjeelliset.

PERUSTAPAUUS



- Betonin ilmamäärä normaali 2...4 %
- Kovettumisaika 28 d ennen kuivumisaajan alkua
- Kuivuminen alaspäin estetty, laatta valettu maahan muovikelmun päälle
- Jälkihoito muovikalvolla tai hyvällä jälkihoitoaineella
- Betoniin ei saa joutua lisävetä (kastelu, sade ym.)

PERUSTAPAUKSESTA POIKKEAMINEN

Perustapauksesta poikkeavat rakenne, betonin laatuominaisuudet ja ympäristöolosuhteet otetaan huomioon kertomalla perustapauksen tarpeellinen kuivumisaika 60 d seuraavilla kehyksissä olevilla kertoimilla.				
Muuttuja	Kerroin			
Betonin laatu	Huokostamaton 1,0	Huokostus noin 10 % 0,5...0,6	Lujuus 25...35 MN/m ² 1,0	
Ikä	Betonin ikä kuivatusta aloitettaessa	Laatan paksuus [mm]		
		< 150 ≥ 150		
	1...2 viikkoa 3...4 viikkoa	0,7...0,8 0,9...1,0	1,0 1,0	
Kuivumis- olosuhteet	Suht. kosteus	20...50 % 1,0	60 % 1,2	80 % 1,5
	Lämpötila	10 °C 1,4...1,3	20 °C 1,0	30 °C 0,7...0,6
Laatan paksuus	h	60 80 100 120 140 160 200 300 [mm] 0,4 0,7 1,0 1,4 1,8 2,3 3,3 6,3	Kuivuminen vain toiselta puolen Molemminpuolisessa kuivumisessa h = puoli laatan paksuutta	
Alapuolinen lämmöneriste	50 mm solumuovi 1,0...0,9	150 mm kevytsora 0,8...0,7	50 mm mineraalivilla 0,7...0,6	
Ei muovikalvoa betonin ja lämmöneristeen välissä				
Betonin koostumus	Suurin raekoko	18 mm 0,7	8 mm 1,0	
	Lentotuhka ja masuunikuona	1,0		
	Silika	K ≥ K35 1,5	K < K35 1,0	
	Notkeus	2...3 sVB 1,0	1...2 sVB 1,2	1...2 sVB 1,0

75mm	125mm	150mm	270mm
0,625	1,5	2,05	5,4

Liite 5 RTT-mentelmä (1/2)

Taulukko 3a. Betonin kuivumisajat 90 % suhteelliseen kosteuteen, kun muuttujina ovat rakennetyypit ja -rakennepaksuudet eri kuivumisolosuhteissa. Taulukon hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa. (LOHJA RUDUS hinnasto, 1. kesäkuuta 1994)

Betoni	Ilma- määrä [%]	Kahteen suuntaan kuivuvan betonilaatan kuivumisaika 90 % suhteelliseen kosteuteen eri rakennepaksuuksilla ja eri olosuhteissa [vko]																Betonin hinta ilman alv:a [mk/m ³]
#32 mm 1-2 sVB		Maksimiraekoon ollessa 16 mm / 8 mm kerrataan taulukon kuivumisaika kertoimella 1,4 / 2,0																
		Kuivumisolosuhteet																
		+10 °C JA RH70%			+10 °C JA RH45%			+20 °C JA RH45%			+20 °C JA RH70%			+30 °C JA RH50%				
		H=200	H=250	H=300	H=200	H=250	H=300	H=200	H=250	H=300	H=200	H=250	H=300	H=200	H=250	H=300		
K30V	1-2	6	13	29	5	11	24	3	6	13	3	7	15	2	4	9	385	
K35V	1-2	2	20	44	8	17	37	3	6	13	3	7	15	2	4	9	418	
K50VN	1-2	3	5	11	2	5	11	2	2	4	2	2	4	1	1	2	578	
K30H	4-6	5	11	24	4	9	20	2	4	9	2	5	11	2	3	7	451	
K30HH	8-10	2	5	11	2	4	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	480	
K40HN	4-6	3	6	13	2	5	11	2	2	2	2	2	2	1	1	1	582	
K50HN	4-6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	672	
K50HHN	8-10	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	832	

Taulukko 3b. Betonin kuivumisajat 85 % suhteelliseen kosteuteen, kun muuttujina ovat rakennetyypit ja -rakennepaksuudet eri kuivumisolosuhteissa. Taulukon hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa. (LOHJA RUDUS hinnasto, 1. kesäkuuta 1994)

Betonin #32 mm 1-2 sVB	Ilma- määrä [%]	Kahteen suuntaan kuivuvan betonilaatan kuivumisaika 85 % suhteelliseen kosteuteen eri rakennepaksuuksilla ja eri olosuhteissa [vko]																Betonin hinta ilman alv:a [mk/m ³]		
		Maksimiraekoon ollessa 16 mm / 8 mm kerrataan taulukon kuivumisaika kertoimella 1,4 / 2,0																		
		Kuivumisolosuhteet																		
		+10 °C JA RH70%				+10 °C JA RH45%				+20 °C JA RH45%				+20 °C JA RH70%					+30 °C JA RH50%	
		H=200	H=250	H=300	H=200	H=250	H=300	H=200	H=250	H=300	H=200	H=250	H=300	H=200	H=250	H=300	H=200	H=250	H=300	
K30V	1-2	16	35	77	12	26	57	5	12	26	9	19	42	4	8	18				385
K35V	1-2	24	53	117	18	39	86	9	19	42	11	25	55	5	12	26				418
K50VN	1-2	18	40	88	14	30	66	3	7	15	5	10	22	2	5	11				578
K30H	4-6	20	45	99	15	34	75	5	12	26	9	19	42	4	8	18				451
K30HH	8-10	16	36	79	13	27	59	3	5	11	3	6	13	2	3	7				480
K40HN	4-6	18	40	88	14	30	6	4	9	20	5	12	26	3	6	13				582
K50HN	4-6	10	22	48	8	17	37	3	6	13	4	8	18	2	4	9				672
K50HHN	8-10	5	12	26	4	9	19	2	3	7	2	4	9	1	2	3				832

Liite 5 RTT-menetelmä (2/2)

Taulukko 3c. Betonin kuivumisajat 90 % suhteelliseen kosteuteen, kun muuttujina ovat rakennetyypit ja -rakennepaksuudet eri kuivumisolosuhteissa. Taulukon hinnat eivät sisällä arvonnalisäveroa. (LOHJA RUDUS hinnasto, 1. kesäkuuta 1994)

Betonin #32 mm 1-2 sVB	Ilma- määrä [%]	Liittorakenteen kuivumisaika 90 % suhteelliseen kosteuteen eri rakennepaksuuksilla ja eri olosuhteissa [vko]														Betonin hinta ilman alv:a [mk/m ³]	
		Maksimiraekoon ollessa 16 mm / 8 mm kerrotaan taulukon kuivumisaika kertoimella 1,4 / 2,0															
		Kuivumisolosuhteet															
		+10 °C JA RH70%		+10 °C JA RH45%		+20 °C JA RH45%		+20 °C JA RH70%		+30 °C JA RH70%		+30 °C JA RH50%					
		H=125 H=200	H=300	H=125 H=200	H=300	H=125 H=200	H=300	H=125 H=200	H=300	H=125 H=200	H=300	H=125 H=200	H=300				
K30V	1-2	13	47	90	10	36	69	6	22	41	7	25	48	4	14	28	385
K35V	1-2	20	72	138	15	54	104	6	22	41	7	25	48	4	14	28	418
K50VN	1-2	5	18	35	4	14	28	2	7	14	2	7	14	1	4	7	578
K30H	4-6	11	40	76	8	29	55	4	14	28	5	18	35	3	11	21	451
K30HH	8-10	5	18	35	4	14	28	1	4	7	1	4	7	1	4	7	480
K40HN	4-6	6	43	41	5	18	35	2	7	14	3	11	21	2	7	14	582
K50HN	4-6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	672
K50HHN	8-10	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	832

Taulukko 3d. Betonin kuivumisajat 85 % suhteelliseen kosteuteen, kun muuttujina ovat rakennetyypit ja -rakennepaksuudet eri kuivumisolosuhteissa. Taulukon hinnat eivät sisällä arvonnalisäveroa. (LOHJA RUDUS hinnasto, 1. kesäkuuta 1994)

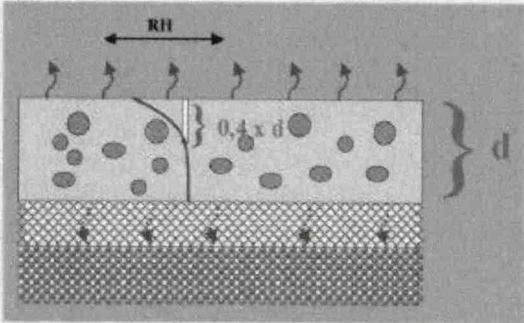
Betonin #32 mm 1-2 sVB	Ilma- määrä [%]	Liittorakenteen kuivumisaika 85 % suhteelliseen kosteuteen eri rakennepaksuuksilla ja eri olosuhteissa [vko]														Betonin hinta ilman alv:a [mk/m ³]	
		Maksimiraekoon ollessa 16 mm / 8 mm kerrotaan taulukon kuivumisaika kertoimella 1,4 / 2,0															
		Kuivumisolosuhteet															
		+10 C JA RH70%			+10 C JA RH45%			+20 C JA RH 45%			+20 C JA RH 70%			+30 C JA RH 50%			
H=125	H=200	H=300	H=125	H=200	H=300	H=125	H=200	H=300	H=125	H=200	H=300	H=125	H=200	H=300	H=125	H=200	H=300
K30V	1-2	35	126	241	26	94	179	12	43	83	16	58	110	8	29	55	385
K35V	1-2	53	191	366	39	140	269	19	68	131	26	94	180	12	43	83	418
K50VN	1-2	40	144	276	30	108	207	7	25	48	10	36	69	5	18	34	578
K30H	4-6	43	155	297	32	116	221	12	43	83	16	58	110	8	29	55	451
K30HH	8-10	36	130	248	27	97	186	5	18	35	7	35	48	3	11	21	480
K40HN	4-6	40	144	276	30	108	207	9	32	62	12	43	83	6	22	41	582
K50HN	4-6	22	80	152	16	58	110	6	22	41	8	29	55	4	14	28	672
K50HHN	8-10	13	47	90	10	36	69	3	11	21	4	14	28	2	7	14	832

Liite 6 BY 1021 Maanvastainen teräsbetonilaatta (1/9)

3.2 Maanvastainen teräsbetonilaatta

Maanvastainen (maanvarainen) teräsbetonilaatta kuivuu pääosin sisätiloihin päin. Alaspäin kuivumiseen vaikuttaa eristeen läpäisevyys, mahdolliset tiiviit kerrokset ja maan lämpötila. Jos maa on kylmempi kuin laatta, laatta kuivuu myös alaspäin, vaikka maan huokosilman suhteellinen kosteus on 100%.

Rakenne:



Rakenteen kuivumisen arviointisyvyys on 0,4 x rakenteen paksuus (d).

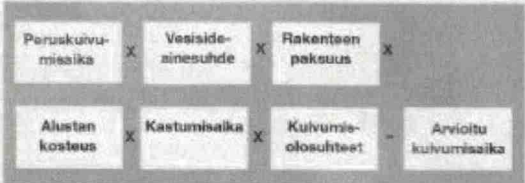
Esimerkki:

90 mm paksu maanvarainen laatta, betoni K30, ei kastunut, kosteissa olosuhteissa yli 2 viikkoa, kuivatuksen alettua olosuhteet 18 °C/50 %RH. Tavoitekosteus 85 %

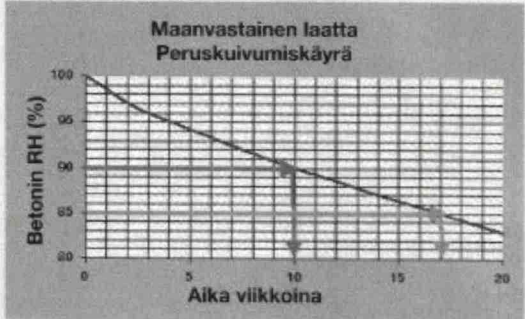
⇒ Perusaika 17 viikkoa x v/s-kerroin 1,0 x paksuus kerroin 1,4 x alustan kosteus kerroin 1,0 x kastumiskerroin 1,0 x olosuhdekerroin 0,9 = 17 x 1,0 x 1,4 x 1,0 x 1,0 x 0,9 = 21,4 ≈ 21 viikkoa.

Jos olosuhteet ovat 10 °C/70 %RH, arvioitu kuivumisaika on 17x 1,0 x 1,4 x 1,0 x 1,0 x 1,4 = 33 viikkoa

Laskentakaava:



Peruskuivumiskäyrä:



Kertoimet:

Vesisideainesuhte (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhte (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
70	1,0	0,8	0,8	0,7
90	1,4	1,3	1,3	1,2
100	1,7	1,6	1,6	1,5
120	2,1	2,0	2,0	1,9
150	2,5	2,4	2,4	2,3

Alusta	Kerroin
kuiva	1,0
muovi	1,1
märkä	1,5

Kastuminen	Vesisideainesuhte			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5

RH (%)	Olosuhteet			
	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Liite 6 BY 1021, Massiivinen teräsbetonilaatta – VP – VS (2/9)

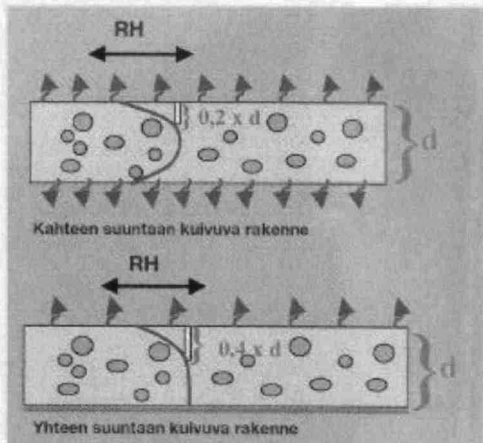
3.3 Massiivinen teräsbetonilaatta – välipohja/ väliseinä

Betonirakenteen kuivumisen arviointisyvyydet ovat kahteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa 0,2 x rakenteen paksuus (d) ja yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa 0,4 x rakenteen paksuus (d).

Laskentakaava:

Peruskuivumisaika	x	Vesisideainesuhde	x	Kuivumissuunta	x	
Rakenteen paksuus	x	Kastumisaika	x	Kuivumisolosuhteet	=	Arvioitu kuivumisaika

Rakenne:



Kertoimet:

Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
200	0,7	0,7	0,7	0,8
230	0,9	0,9	0,9	0,9
250	1,0	1,0	1,0	1,0
280	1,3	1,1	1,1	1,1
300	1,6	1,4	1,3	1,2
270 mm	1,2	1,066	1,066	

Kuivumissuunta	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
Kahteen suuntaan	1,0	1,0	1,0	1,0
Yhteen suuntaan	3,2	2,6	2,3	2,0

RH (%)	Olosuhteet			
	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Kastuminen	Vesisideainesuhde			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5



Esimerkki:

200 mm paksu välipohja, betoni K30 (v/s=0,7), kastunut yli 2 viikkoa, kuivatuksen alettua olosuhteet 25 °C/50 %RH. Tavoitekosteus 85 %
⇒ (perusaika 37 viikkoa) x (v/s -kerroin 1,0) x (paksuuskerroin 0,7) x (kuivumissuuntakerroin 1,0) x (olosuhdekerroin 0,7) x (kastumiskerroin 1,5)
= 37 x 1,0 x 0,7 x 1,0 x 0,7 x 1,5 = 27,2
≈ 27 viikkoa.

Esimerkki:

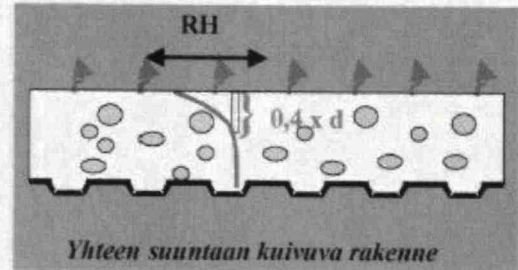
200 mm paksu välipohja, betoni NP30, v/s=0,5, kastunut yli 2 viikkoa, kuivatuksen alettua olosuhteet 25 °C/50 %RH. Tavoitekosteus 85 %
⇒ (perusaika 37 viikkoa) x (v/s- kerroin 0,5) x (paksuuskerroin 0,7) x (kuivumissuuntakerroin 1,0) x (olosuhdekerroin 0,7) x (kastumiskerroin 1,2) x
= 37 x 0,5 x 0,7 x 1,0 x 0,7 x 1,2 x 0,8
= 10,9 ≈ 11 viikkoa.

Liite 6 BY 1021, Liittolaattavälipohja (3/9)

3.4 Liittolaattavälipohja

Betonin ja teräspoimulevyn muodostama liittolaattavälipohja on yhteen suuntaan kuivuva rakenne. Yhteen suuntaan kuivuvassa rakenteessa betonin kuivumisarviointisyvyys on $0,4 \times$ rakenteen paksuus (d).

Rakenne:



Laskentakaava:

Peruskuivumisaika	X	Vesisideainesuhde	X	Rakenteen paksuus	X
Kastumisaika	X	Kuivumisolosuhteet	=	Arvioitu kuivumisaika	

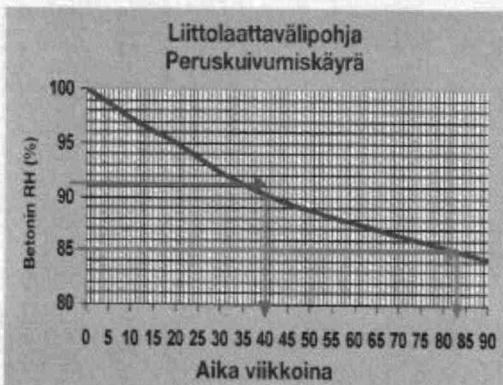
Kertoimet:

Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
150	0,7	0,6	0,6	0,5
170	0,8	0,7	0,7	0,6
200	1,0	0,8	0,8	0,7

RH (%)	Olosuhteet			
	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Kastuminen	Vesisideainesuhde			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5



Esimerkki:

150 mm paksu liittolaatta, betonin v/s = 0,7, kastunut yli 2 viikkoa, kuivatuksen alettua olosuhteet 25 °C/50 %RH. Tavoitekosteus 85 %.

⇒ Perusaika 83 viikkoa x v/s -kerroin 1,0 x paksuuskerroin 0,7 x olosuhtekerroin 0,7 x kastumiskerroin 1,5
 $= 83 \times 1,0 \times 0,7 \times 1,5 \times 0,7 = 61,0 \approx 61$ viikkoa.

Jos betonin v/s on 0,5, arvioitu kuivumisaika on
 $83 \times 0,5 \times 0,6 \times 1,2 \times 0,7 \times 1,0$
 ≈ 21 viikkoa

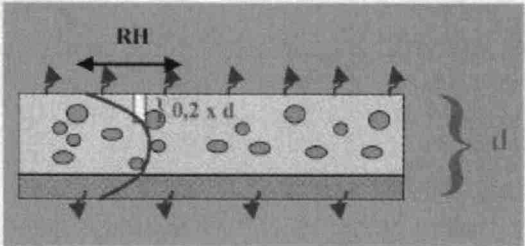
Liite 6 BY 1021, Kuorilaattarakenteet (4/9)

3.5 Kuorilaattarakenteet

Kuorilaattavälipohja muodostuu yleensä 70...100 mm paksusta betonielementistä ja paikalla valetavasta jälkivalusta (140...190 mm). Rakenne kuivuu sekä ylös- että alaspäin. Kuoren tiivyydestä johtuen kuivuminen alaspäin on kuitenkin yleensä ylöspäin tapahtuvaa kuivumista vähäisempää.

Rakenteen kuivumisen arviointisyvyys on $0,2 \times$ koko rakenteen paksuus (d).

Rakenne:



Laskentakaava:

Peruskuivumisaika	X	Vesisideainesuhte	X	Jälkivalun paksuus	X
Kastumisaika	X	Kuivumisolosuhteet	=	Arvioitu kuivumisaika	

Kertoimet:

Vesisideainesuhte (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhte (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
140	1,0	1,0	1,0	1,0
160	1,2	1,2	1,2	1,2
190	1,3	1,2	1,2	1,1

Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Kastuminen	Vesisideainesuhte			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5



Esimerkki:

70 mm paksu kuorilaatta, 160 mm jälkivalu, betonin $v/s = 0,7$, kastunut yli 2 viikkoa, kuivatuksen alettua olosuhteet $25\text{ °C}/50\text{ \%RH}$. Tavoitekosteus 90 %

⇒ Peruskuivumisaika 14 viikkoa x v/s -kerroin 1,0 x paksuuskerroin 1,2 x kastumiskerroin 1,5 x olosuhdekerroin 0,7
 $= 14 \times 1,0 \times 1,2 \times 1,5 \times 0,7 = 17,6 \approx 18$ viikkoa.

Jos jälkivalu tehdään betonista, jonka v/s on 0,5 (esim. NP 30), arvioitu kuivumisaika on
 $= 14 \times 0,5 \times 1,2 \times 1,2 \times 0,7 = 7$ viikkoa.

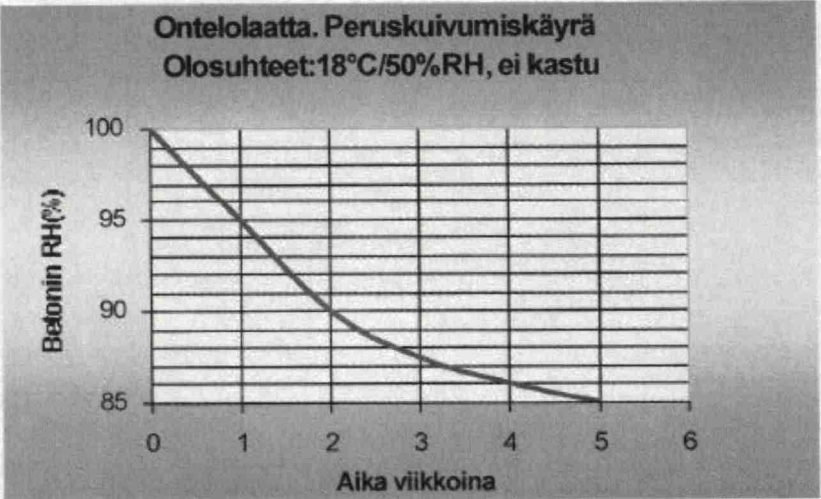
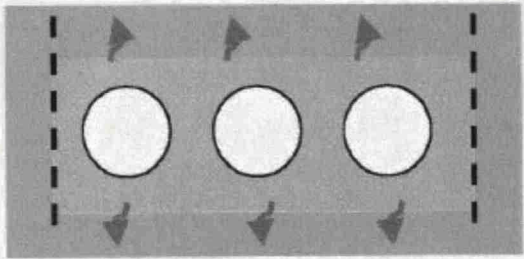
Liite 6 BY 1021, Ontelolaattavälipohjat (5/9)

3.6 Ontelolaattavälipohjat

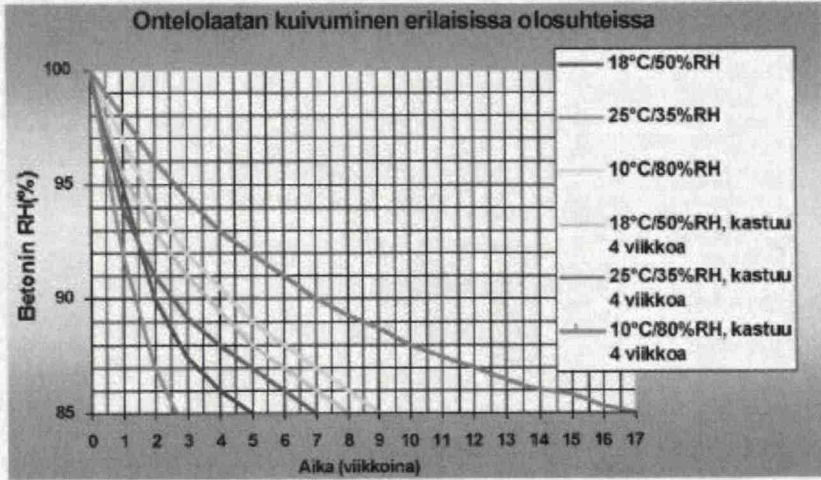
Rakenne:

3.6.1 Ontelolaatta

Ontelolaatat tehdään alhaisen vesisementtisuhteen omaavasta betonista ($v/s = 0,4-0,5$), mikä on tiivistä ja missä kemiallisen kuivumisen osuus on merkittävä. Riittävän kauan kosteissa olosuhteissa oltuaan laatat voivat kuitenkin kastua, millä on merkittävä vaikutus koko rakenteen kuivumisnopeuteen.



Peruskuivumiskäyrä: Ontelolaatan kuivuminen valmistamisen jälkeen, kun laatta ei ole kastunut ja kun kuivumisolosuhteet ovat 18°C/50%RH.



Kuva 17. Ontelolaatan kuivuminen valmistamisen jälkeen erilaisissa olosuhteissa.

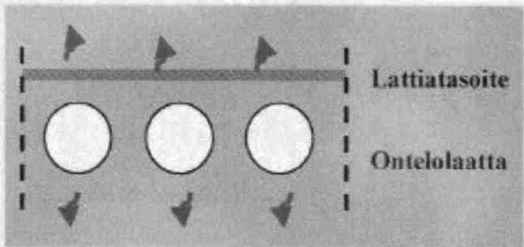
Liite 6 BY 1021, Ontelolaatta + lattiatasoite (6/9)

3.6.2 Ontelolaatta + lattiatasoite

5 mm paksuinen lattiatasoite pidentää rakenteen kuivumisaikaa noin viikolla. Jos tasoitteen paksuus on esim. 20 mm, kuivumisaika kasvaa noin 4 viikolla. Rakenteen kuivumisnopeuteen vaikuttaa merkittävästi se, miten paljon ontelolaatta on kastunut ja mitkä ovat kuivumisolosuhteet.

Rakenteen kuivumisen arviointisyvyys on 0,2 x koko rakenteen paksuus.

Rakenne:



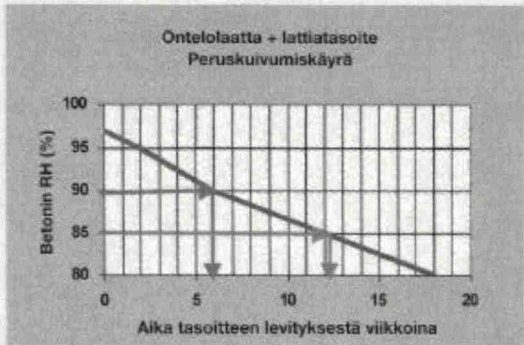
Laskentakaava:

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \text{Peruskuivumisaika} & \times & \text{Ontelolaatan kosteus} & \times \\ \hline \text{Kuivumisolosuhteet} & = & \text{Arvioitu kuivumisaika} & \\ \hline \end{array}$$

Kertoimet:

Ontelolaatan kosteus (RH%) ennen pintavalua	Kerroin	Tasoitteen paksuus (mm)	Kerroin
Alle 90 %	0,6	20	1,6
90-95 %	1,0	10	1,0
yli 95 %	1,3	5	0,8

RH (%)	Olosuhteet			
	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9



Esimerkki:

Ontelolaatta 320 mm + lattiatasoite 20 mm.
 Ontelolaatan kosteus ennen tasoitteen levitystä alle 90 %. Kuivatuksen alettua olosuhteet +25 °C/50 %RH. Tavoitekosteus 85 %.

⇒ Peruskuivumisaika 12 viikkoa x ontelolaatan kosteuskerroin 0,6 x tasoitteen paksuuskerroin 1,6 x olosuhdekerroin 0,7 = 12 x 0,6 x 1,6 x 0,7 ≈ 8 viikkoa

Jos ontelolaatan kosteus on yli 95 % ennen tasoitteen levitystä, arvioitu kuivumisaika on = 12 x 1,3 x 1,6 x 0,7 ≈ 17,5 viikkoa

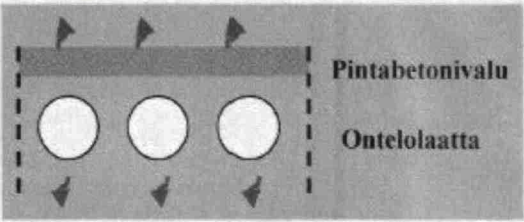
Liite 6 BY 1021, Ontelolaatta + pintabetonivalu (7/9)

3.6.3 Ontelolaatta + pintabetonivalu

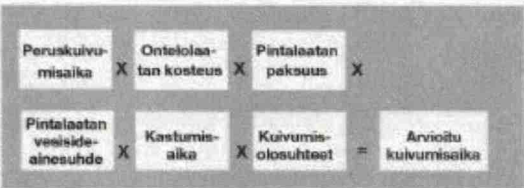
Ontelolaatasta (256 mm, 320R, 37R) ja pintabetonivalusta muodostuvan välipohjan kuivumiseen vaikuttaa merkittävästi rakenteen kastuminen, pintabetonivalun ominaisuudet sekä kuivumisolosuhteet.

Rakenteen kuivumisen arviointisyvyydet ovat 20 mm pintabetonivalun alapuolelta sekä 0,5 x pintabetonivalun paksuus.

Rakenne:



Laskentakaava:



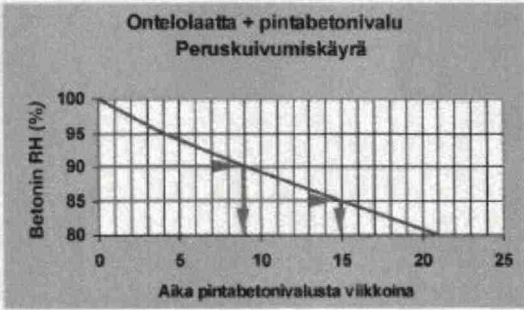
Kertoimet:

Ontelolaatan kosteus (RH%) ennen pintavalua	Kerroin	Pintabetonivalun paksuus (mm)	Kerroin
Alle 90 %	0,5	30	0,7
90-95 %	1	50	1,0
yli 95 %	1,5	80	1,3

Vesisideainesusuhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,8
0,5	0,6

Kastuminen	Pintabetonin vesisideainesusuhde		
	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,2	1,3	1,5

RH (%)	Olosuhteet Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9



Esimerkki:

Ontelolaatta 320 + pintabetonivalu 50 mm, betoni K30, ontelolaatan kosteus ennen pintavalua yli 95 %RH. Kuivumisolosuhteet: kaksi viikkoa kosteassa, sitten +25 °C/50 %RH. Tavoitekosteus 85 %.

⇒ Peruskuivumisaika 15 viikkoa x ontelolaatan kosteuserroin 1,5 x pintalaatan paksuuserroin 1,0 x pintalaatan vesisideainesusuhdekerroin 1,0 x pintalaatan kastumisaikakerroin 1,0 x kuivumisolosuuhdekerroin 0,7
= 15 x 1,5 x 1,0 x 1,0 x 1,0 x 0,7 = 15,8
= 16 viikkoa.

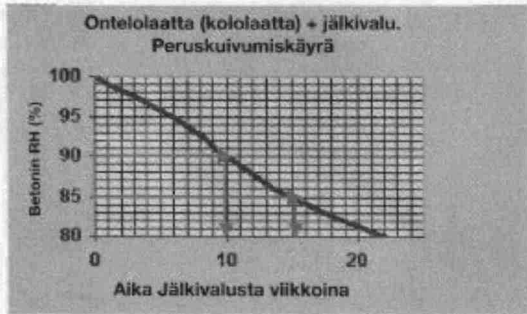
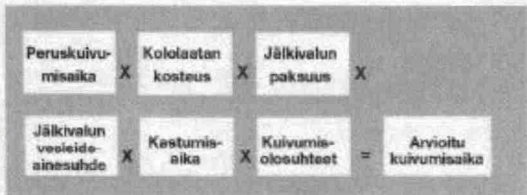
Liite 6 BY 1021, Kololaatta + jälkivalu (8/9)

3.6.4 Kololaatta + jälkivalu

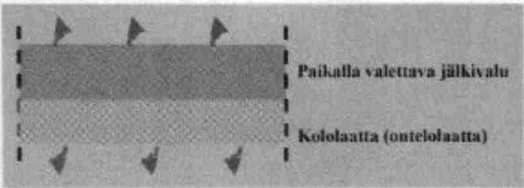
Kololaatta + jälkivalu (kallistusvalu) on lähinnä märkätiloissa käytettävä lattiarakenne. Rakenne muodostuu normaalia ontelolaattaa ohuemmasta betonielementistä sekä paikalla valettavasta jälkivalusta (paksuus noin 100...150 mm) Rakenteen kuivumiseen vaikuttaa merkittävästi jälkivalubetonin ominaisuudet ja paksuus sekä kuivumisolosuhteet.

Rakenteen kuivumisen arviointisyvyys on 40 % jälkivalubetonin paksuudesta

Laskentakaava:



Rakenne:



Kertoimet:

Ontelolaatan kosteus (RH%) ennen pintavalua	Kerroin	Vesisideainessuhde (v/s)	Kerroin
Alle 90 %	0,9	0,7	1,0
90-95 %	1,0	0,6	0,7
yli 95 %	1,5	0,5	0,5

Jälkivalun paksuus (mm)	0,7	0,6	0,5
100	0,8	0,7	0,7
120	1,0	0,9	0,9
150	1,3	1,2	1,2

Kastuminen	Pintabetonin vesisideainessuhde	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	0,9	0,9	0,8	
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	
kastunut yli 2 viikkoa	1,2	1,3	1,5	

RH (%)	Olosuhteet			
	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Esimerkki:

Ontelolaatta (kololaatta) + betonijälkivalu 150 mm. Betoni K30 (v/s = 0,7). Kololaatan kosteus ennen jälkivalua yli 95 %. Kuivumisolosuhteet: 2 viikkoa sateessa, sitten + 18 °C/60 %RH. Ta-voitekosteus 90 %.

⇒ Peruskuivumisaika 10 viikkoa x kololaatan kos-teus kerroin 1,5 x jälkivalun paksuuskerroin 1,5 x jälkivalun vesisideainessuhdekerroin 1,0 x kas-tumisaikakerroin 1,5 x kuivumisolosuuhdeker-roin 1,0 = 10 x 1,5 x 1,5 x 1,0 x 1,5 x 1,0 = 33,8 = 34 viikkoa

Liite 6 BY 1021, Kerrokselliset betonilattiat (9/9)

3.7 Kerrokselliset betonilattiat

Kerroksellisissa betonilaatoissa kuivumisaika-arviot jakautuvat kantavan betonilaatan (runkorakenteen) kuivumisaika-arvioon sekä kelluvan pintabetonilaatan kuivumisarvioon. Tavoitteena on yleensä, että runkolaatan tulee kuivua alle 90 % suhteelliseen kosteuteen ennen kuin ylemmät kerrokset voidaan tehdä. Kantavan laatan kuivumisaika-arviot tehdään kohtien 3.2–3.6 mukaisesti.

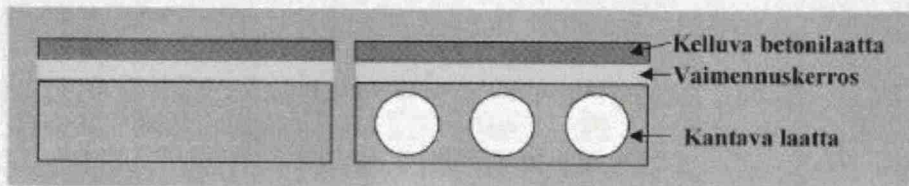
Kelluvan pintalaatan kuivumiseen vaikuttaa kantavan laatan ja vaimennuskerroksen (askeläänieristekerroksen) kosteus, pintabetonin ominaisuudet sekä kuivumisolosuhteet.

Esimerkki:

Kelluva pintalaatta 50 mm. Betoni K30 (v/s). Runkolaatan kosteus 90–95 %. Kuivumisolosuhteet: yli 2 viikkoa kosteassa, sitten +25 °C/50 % RH. Tavoitekosteus 85 %.

=> Peruskuivumisaika 8 viikkoa x runkolaatan kosteus kerroin 1,1 x pintalaatan paksuuskerroin 0,8 x pintalaatan v/s kerroin 1,0 x jälkihoito-kerroin 1,0 x kuivumisolosuhtekerroin 0,7 = 4,9 ≈ 5 viikkoa.

Rakenne:



Laskentakaava:

Peruskuivumisaika	x	Runkolaatan kosteus	x	Pintalaatan paksuus	x	
Pintalaatan vesisideainesuhte	x	Jälkihoito	x	Kuivumisolosuhteet	=	Arvioitu kuivumisaika

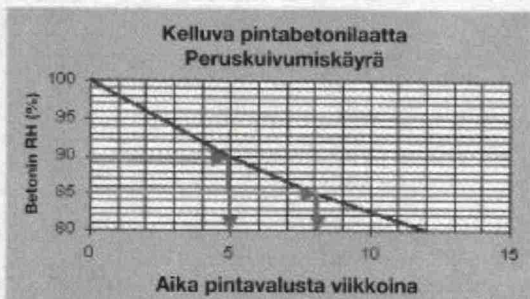
Kertoimet:

Runkolaatan kosteus (RH%) ennen pintavalua	Kerroin	Vesisideainesuhte (v/s)	Kerroin
Alle 90 %	1,0	0,7	1,0
90-95 %	1,1	0,6	0,7
yli 95 %	1,5	0,5	0,5

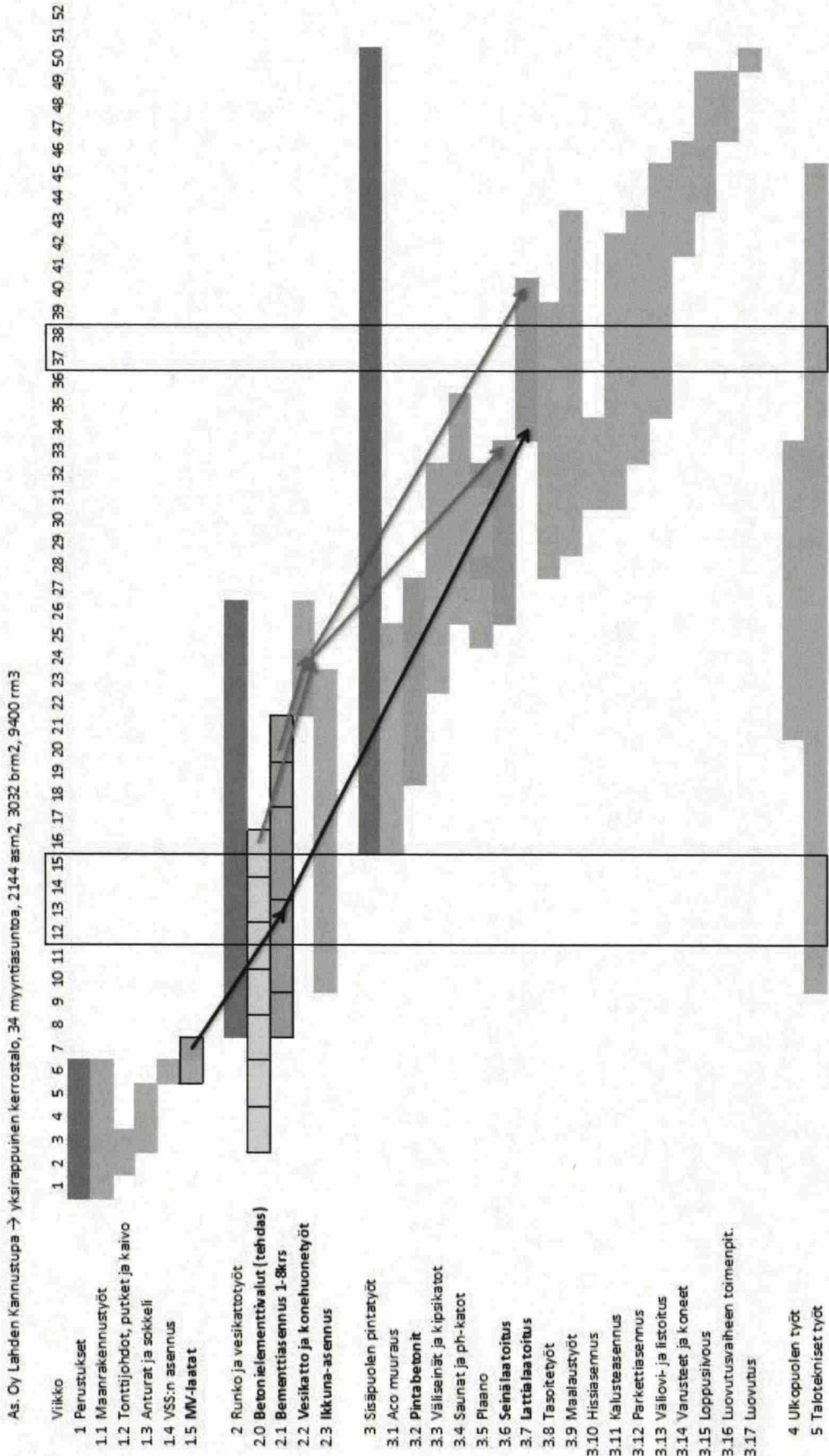
Kelluvan laatan paksuus (mm)	Vesisideainesuhte (v/s)		
	0,7	0,6	0,5
50	0,8	0,7	0,7
70	1,0	0,8	0,8
90	1,2	1,1	1,1
100	1,5	1,3	1,3

Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Kastuminen	Pintabetonin vesisideainesuhte		
	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0



Liite 7 Kannustuvan yleisaikataulu



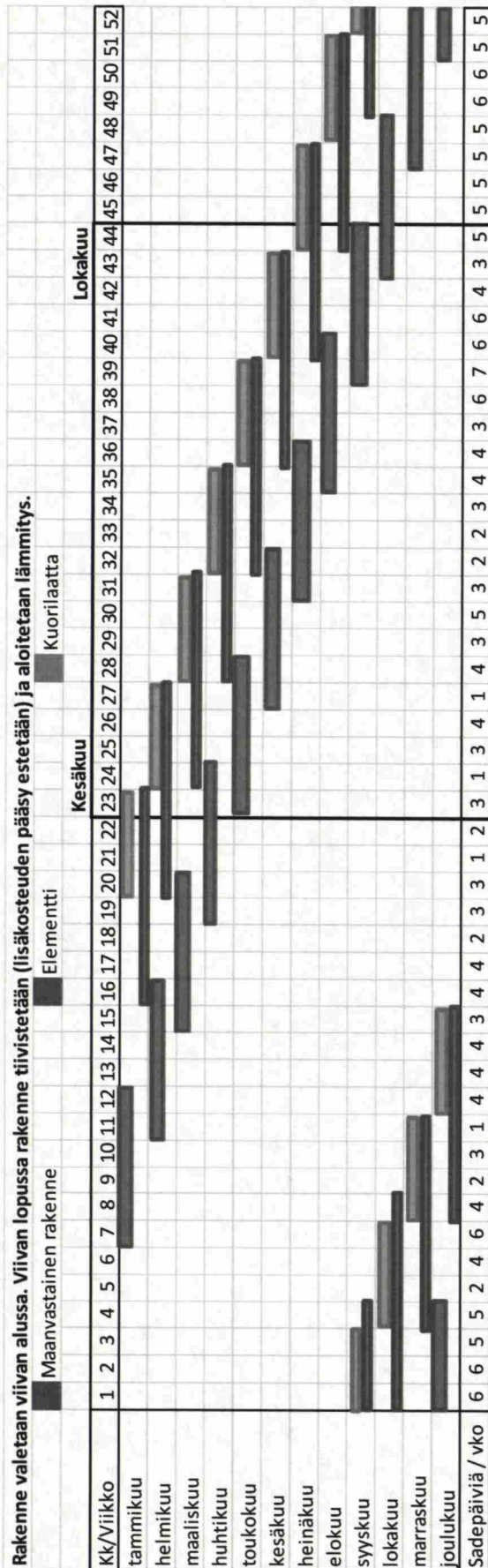
Liite 8 Työmaan viikkokierto kuukausien mukaan

Maanvastainen	Valettu	Tiivistetty + lämmitys	Pinnoittaminen
Työmaan aloitus kk	viikko		
Tammikuu	7	13	34
Helmikuu	11	17	38
Maaliskuu	15	21	42
Huhtikuu	19	25	46
Toukokuu	23	29	50
Kesäkuu	27	33	2
Heinäkuu	31	37	6
Elokuu	35	41	10
Syyskuu	39	45	14
Lokakuu	43	49	18
Marraskuu	47	1	22
Joulukuu	51	5	26

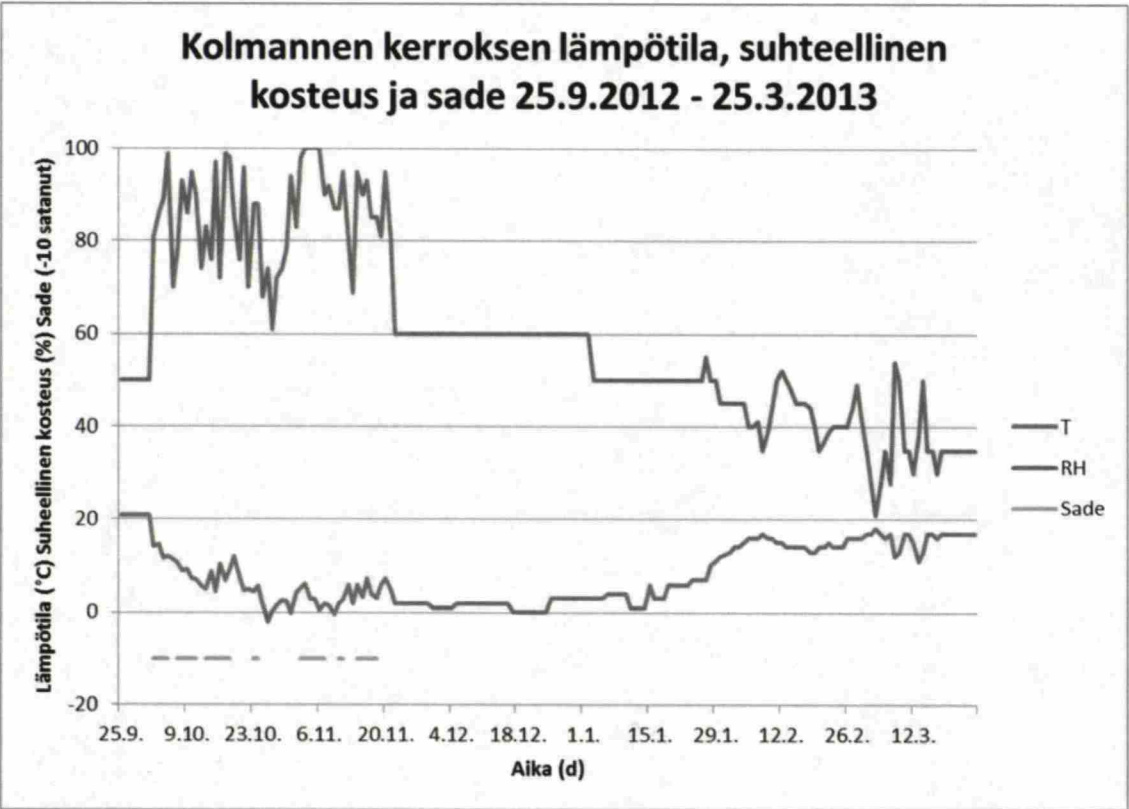
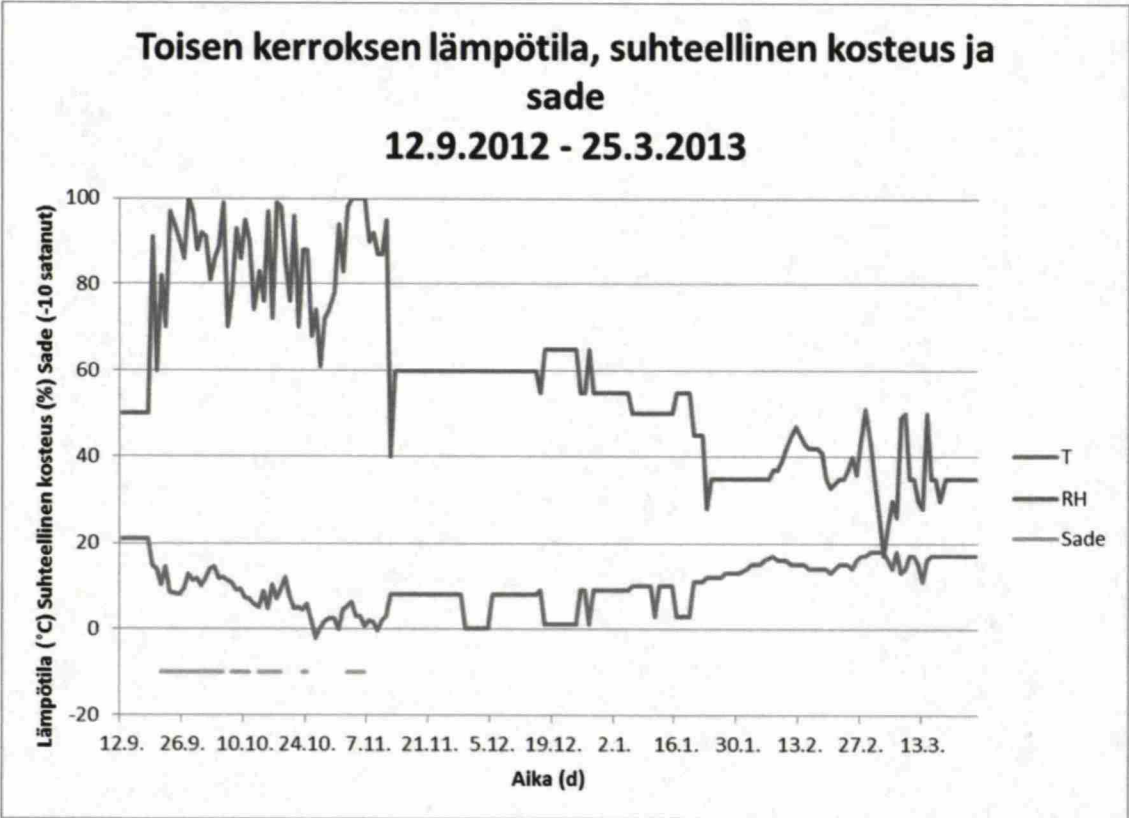
Kuorilaatta	Valettu	Tiivistetty + lämmitys	Pinnoittaminen
Työmaan aloitus kk	viikko		
Tammikuu	20	24	40
Helmikuu	24	28	44
Maaliskuu	28	32	48
Huhtikuu	32	36	52
Toukokuu	36	40	4
Kesäkuu	40	44	8
Heinäkuu	44	48	12
Elokuu	48	52	16
Syyskuu	52	4	20
Lokakuu	4	8	24
Marraskuu	8	12	28
Joulukuu	12	16	32

Väliseinäelementti	Valettu	Tiivistetty + lämmitys	Pinnoittaminen
Työmaan aloitus kk	viikko		
Tammikuu	16	24	33
Helmikuu	20	28	37
Maaliskuu	24	32	41
Huhtikuu	28	36	45
Toukokuu	32	40	49
Kesäkuu	36	44	1
Heinäkuu	40	48	5
Elokuu	44	52	9
Syyskuu	48	4	13
Lokakuu	52	8	17
Marraskuu	4	12	21
Joulukuu	8	16	25

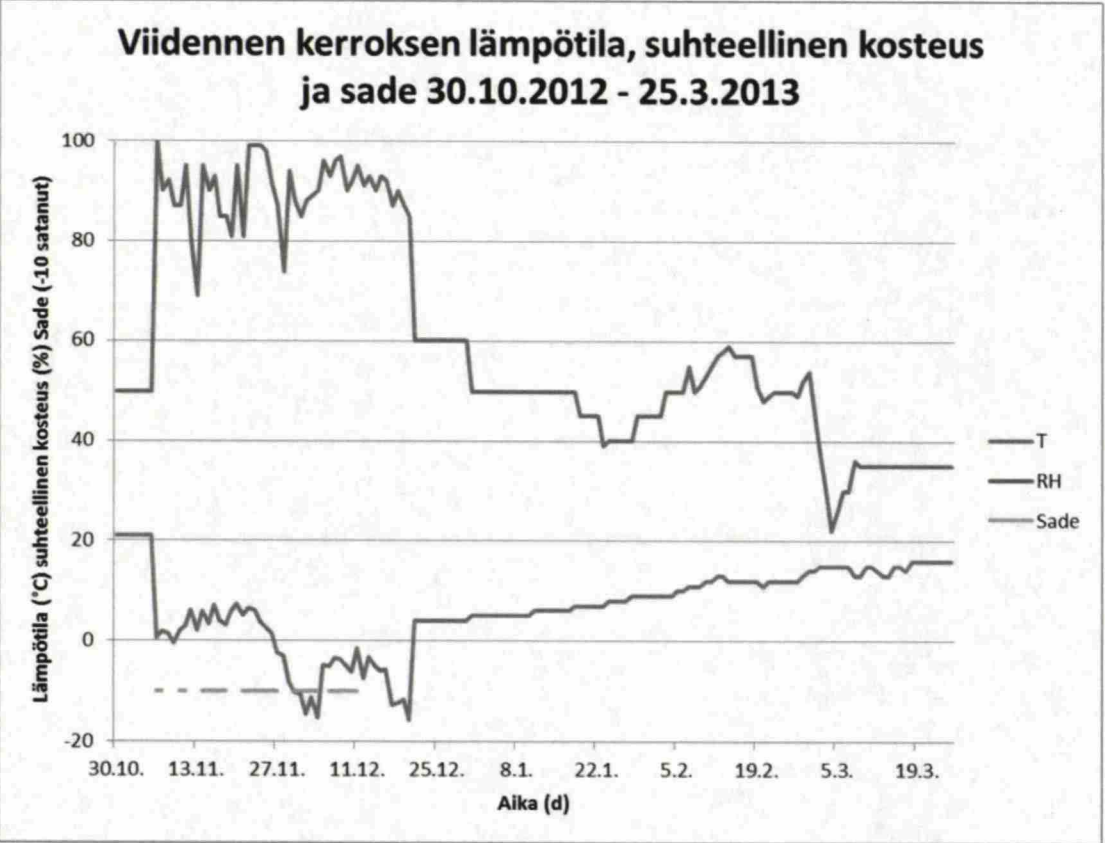
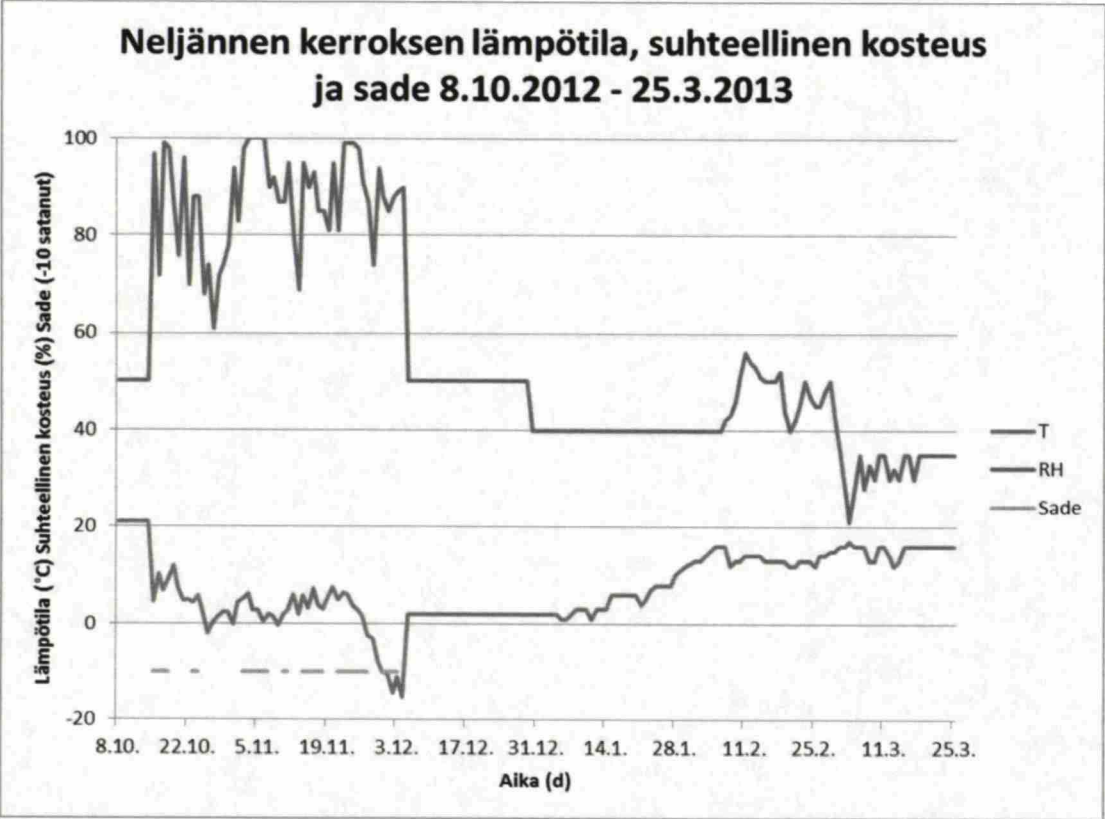
Liite 9 Valupäivästä tiivistykseen, epäedulliset kuukaudet



Liite 10 Case-kohteen kerroksien lämpötilat, suhteelliset kosteudet ja sateet (1/2)



Liite 10 Case-kohteen kerroksien lämpötilat, suhteelliset kosteudet ja sateet (2/2)



Liite 12 Menetelmien muuttujien vertailutaulukko

Muuttuja	Torkas 90%	BY 1021 90%	Lathund 90%	RTT 90%	BLY 90%	Torkas 88%	Torkas 87%	Torkas 86%	Torkas 85%	BY 1021 85%	Lathund 85%	RTT 85%
Lämpötila 10°C	73	77	41	73	84	159	224	346	yli 365	149	81	435
Lämpötila 18°C	53	57	30	27	-	111	153	208	275	112	61	69
Lämpötila 25°C	38	45	24	-	-	78	107	144	188	87	47	-
Lämpötila 30°C	29	38	20	14	39	60	82	111	142	75	41	73
Paksuus 20 cm	36	38	22	28	36	75	105	146	190	73	44	42
Paksuus 25 cm	48	54	28	28	54	101	139	189	251	105	56	98
Paksuus 27 cm	53	57	-	39	-	111	153	208	275	112	-	143
Paksuus 30 cm	60	70	-	56	74	126	174	236	324	136	-	210
Ympäristön RH 35 %	53	51	27	-	-	111	153	208	275	99	54	-
Ympäristön RH 50 %	53	57	30	-	65	111	153	208	275	112	61	-
Ympäristön RH 60 %	53	64	34	-	78	111	153	208	275	124	68	-
Ympäristön RH 70 %	55	70	37	-	-	118	167	233	343	137	74	-
Ympäristön RH 80 %	56	77	41	-	97	126	185	269	yli 365	149	81	-
MV+EPS50mm, A=40%	132	136	-	-	308	268	yli 365	yli 365	yli 365	231	-	-
KL50mm, A=25%	82	60	-	-	-	169	235	355	yli 365	103	-	-
VP 1-SUUNTAAN, A=40%	119	132	71	-	-	250	yli 365	yli 365	yli 365	264	142	-
VP 2-SUUNTAAN, A=20%	53	57	31	-	-	111	153	208	275	112	62	-
V/S 0,4	12	54	12	-	-	28	42	60	85	50	31	-
V/S 0,5	53	57	31	-	-	111	153	130	275	112	62	-
V/S 0,6	103	80	49	-	-	283	yli 365	yli 365	yli 365	157	101	-
V/S 0,7	220	115	115	-	-	-	yli 365	yli 365	yli 365	224	231	-
V/S 0,7; 2 vko kosteassa	229	144	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V/S 0,7; 2 vko sateessa	266	215	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V/S 0,5; 2 vko kosteassa	61	64	-	-	-	121	165	221	291	124	-	-
V/S 0,5; 2 vko sateessa	92	77	-	-	-	162	174	231	306	149	-	-

Liite 13 Vertaillut mittaustulokset, Cramo ja Torkas

Järjestys nro	Rakenne	Mittaus päivä	Mittaus nro:t	Elementti	V/S	Päiviä valusta	Syyvyys %	Syyvyys mm	Mitattu RH	Mitattu T	Korjattu RH	Torkas RH %	Erutus
Alapohjat, Ulkoseinä													
1	AP	25.2.	32, 4	ET201	0,54	172	6 %	15	42	15	44,5	65,6	-21,3
2	AP	25.2.	33, 5	ET201	0,54	172	13 %	35	74	15	76,5	87,4	-10,9
3	AP	25.2.	34	ET201	0,54	172	26 %	70	82	15	84,5	91,2	-6,7
4	AP	24.1.	2	ET206	0,52	140	10 %	28	71	15	73,5	85,7	-12,2
5	AP	24.1.	3	ET206	0,52	140	20 %	54	81	15	83,5	90,4	-6,9
6	US	25.2.	35, 6	SK1302	0,55	165	17 %	25	72	15	74,5	83,6	-9,1
Tekniikkalaatat													
7	VP	25.2.	36, 7	T217	0,53	153	6 %	15	42	16	44,0	66,9	-22,9
8	VP	25.2.	37, 8, 9	T217	0,53	153	13 %	35	72	16	74,0	88,5	-14,5
9	VP	25.2.	42, 13	T237	0,52	143	7 %	20	64	15	66,5	84,0	-17,5
10	VP	25.2.	43, 14, 15	T237	0,52	143	15 %	40	80	15	82,5	88,9	-6,4
11	VP	25.3.	79	T237	0,52	171	20 %	54	73	14	76,0	89,4	-13,4
12	VP	25.3.	80	T237	0,52	171	26 %	70	79	14	82,0	90,3	-8,3
13	VP	4.3.	63, 45, 17	T231	0,52	159	9 %	25	76	15	78,5	85,7	-7,2
14	VP	4.3.	64, 46, 18	T231	0,52	159	17 %	45	83	15	85,5	89,7	-4,2
15	VP	25.3.	77	T231	0,52	180	20 %	54	74	14	77,0	89,8	-12,8
16	VP	25.3.	78	T231	0,52	180	26 %	70	77	14	80,0	90,5	-10,5
17	VP	4.3.	75, 2, 60, 39, 11	T209	0,52	193	20 %	54	75	14	78	89,6	-11,6
18	VP	4.3.	76, 2, 61, 40, 12	T209	0,52	193	26 %	70	80	14	83	90,5	-7,5
19	VP	4.3.	66, 48, 20	T257	0,50	139	7 %	20	52	15	54,5	82,3	-27,8
20	VP	4.3.	67, 49, 21	T257	0,50	139	15 %	40	75	16	77,0	87,7	-10,7
21	VP	4.3.	69, 51, 23	T251	0,48	146	7 %	20	70	15	72,5	82,1	-9,6
22	VP	4.3.	70, 52, 24	T251	0,48	146	15 %	40	79	15	81,5	87,3	-5,8
23	VP	25.3.	81	T251	0,48	167	20 %	54	78	14	81,0	88,3	-7,3
24	VP	25.3.	82	T251	0,48	167	26 %	70	83	14	86,0	89,2	-3,2
25	VP	4.3.	72, 54, 26	T278	0,55	115	6 %	15	56	15	58,5	65,9	-7,4
26	VP	4.3.	73, 55, 27	T278	0,55	115	13 %	35	77	15	79,5	89,4	-9,9
27	VP	4.3.	75, 57, 29	T272	0,51	114	6 %	15	64	14	67,0	66,6	0,4
28	VP	4.3.	76, 58, 30	T272	0,51	114	13 %	35	78	14	81,0	87,7	-6,7
29	VP	25.3.	83	T272	0,51	135	20 %	54	82	15	84,5	89,4	-4,9
30	VP	25.3.	84	T272	0,51	135	26 %	70	85	15	87,5	90,4	-2,9
Väliseinät													
31	VS	24.1.	1	V1304	0,52	133	10 %	20	58	17	59,5	85,0	-25,5
32	VS	25.2.	38, 10	VP2304	0,52	153	13 %	25	71	16	73,0	84,3	-11,3
33	VS	25.2.	44, 16	VP3302	0,52	143	13 %	25	74	15	76,5	87,2	-10,7
34	VS	4.3.	62, 41	VPXXXX	0,52	153	13 %	25	85	16	87,0	84,3	2,8
35	VS	4.3.	65, 47, 19	VP3327	0,52	146	13 %	25	87	15	89,5	86,7	2,8
36	VS	4.3.	68, 50, 22	VP4304	0,52	133	13 %	25	91	15	93,5	87,1	6,4
37	VS	4.3.	71, 53, 25	VP4317	0,52	124	13 %	25	88	13	91,5	86,8	4,7
38	VS	25.3.	86	VP4317	0,52	145	20 %	40	90	14	93,0	88,6	4,4
39	VS	4.3.	74, 56, 28	VP5304	0,52	117	13 %	25	89	15	91,5	87,2	4,3
40	VS	25.3.	85	VP5304	0,52	138	20 %	40	88	13	91,5	88,8	2,7
41	VS	4.3.	77, 59, 31	VP5317	0,52	123	13 %	25	90	14	93,0	87,4	5,6
42	VS	25.3.	87	VP5317	0,52	144	20 %	40	89	15	91,5	88,9	2,6

Liite 14 Vertaillut mittaustulokset väliseinistä, Cramo ja Tor-
kas vesi-sideainesuhteella 0,64

Järjestys nro	Rakenne	Mittaus päivä	Mittaus nro:t	Elementti	V/S	Päiviä valusta	Syvyys %	Syvyys mm	Mitattu RH	Mitattu T	Korjattu RH	Torkas RH %	Erotus
Väliseinät													
31	VS	24.1.	1	V1304	0,64	133	10 %	20	58	17	59,5	88,5	-25,0
32	VS	25.2.	38, 10	VP2304	0,64	153	13 %	25	71	16	73,0	90,4	-17,4
33	VS	25.2.	44, 16	VP3302	0,64	143	13 %	25	74	15	76,5	90,1	-13,6
34	VS	4.3.	62, 41	VPXXXX	0,64	153	13 %	25	85	16	87,0	90,1	-3,1
35	VS	4.3.	65, 47, 19	VP3327	0,64	146	13 %	25	87	15	89,5	90,8	-1,3
36	VS	4.3.	68, 50, 22	VP4304	0,64	133	13 %	25	91	15	93,5	90,9	2,6
37	VS	4.3.	71, 53, 25	VP4317	0,64	124	13 %	25	88	13	91,5	89,6	1,9
38	VS	25.3.	86	VP4317	0,64	145	20 %	40	90	14	93,0	92,1	0,9
39	VS	4.3.	74, 56, 28	VP5304	0,64	117	13 %	25	89	15	91,5	89,9	1,6
40	VS	25.3.	85	VP5304	0,64	138	20 %	40	88	13	91,5	92,3	-0,8
41	VS	4.3.	77, 59, 31	VP5317	0,64	123	13 %	25	90	14	93,0	90,1	2,9
42	VS	25.3.	87	VP5317	0,64	144	20 %	40	89	15	91,5	92,5	-1,0